FONDO PIZZOFALCONE

NAZIONALE

B. Prov.

XIII

529

NAPOLI

BIBLIOTECA

VITT. EM. III

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XVII

Palchetto C

Num.° d' ordine 12

137
2
38

B. Prov.
XIII
529

Digitized by Google

EXAMEN CRITIQUE

DE L'OUVRAGE DE M. DUBUAT

SUR

LES PRINCIPES DE L'HYDRAULIQUE.

IMPRIMERIE DE DELAMARRE,

RUE JEAN-PAIN-MOLLET, N°. 27.

645333

EXAMEN CRITIQUE

DE L'OUVRAGE DE M. DUBUAT,

SUR

LES PRINCIPES

DE L'HYDRAULIQUE,

Et Observations sur les hypothèses dont il a fait usage et les Expériences qu'il a fait exécuter.

PAR M. LECREULX,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de la Société des Sciences, Arts et Agriculture de Nancy;

Ouvrage in-8°. avec planches.

A PARIS,

CHEZ { FIRMIN DIDOT, libraire, rue de Thionville, N°. 10;
GŒURY, quai des Augustins, N°. 41.

1809

AVERTISSEMENT.

L'EXTRAIT commenté de l'ouvrage de M. Dubuat, que l'on présente, a été assujéti à la même division et au même ordre. On suit ce travail chapitre par chapitre, avec l'énonciation des titres, et l'indication de la plus grande partie des articles, surtout des plus intéressans. De plus, afin de mettre sous les yeux du lecteur un extrait plus fidèle, on a exactement copié, et ensuite souligné et mis sous des guillemets tout ce qui appartient à M. Dubuat; mais tout ce qui appartient au commentateur, est précédé d'un *nota*; et dans les autres articles, il annonce ce qui appartient à l'auteur.

On a en outre fait copier huit des figures de l'ouvrage de M. Dubuat, pour faciliter l'intelligence du travail présenté.

ERRATA.

Page 21, ligne 1, au lieu de $0,3(\sqrt{r-c,1},)$ lisez $(\sqrt{r-0,1})$
Idem, ligne 3, au lieu de $-0,3(\sqrt{r-c,1})$ lisez $(\sqrt{r-0,1})$
Page 22, ligne 27, au lieu de les, lisez ces.
Page 120, ligne 20, au lieu de travaux, lisez trains.
Page 136, ligne 10, au lieu de si l'on n'ôtoit, lisez si l'on notoit.
Page 139, ligne 25, écluses, lisez éclusées.
Page 185, ligne 7, au lieu de 724, lisez 274.
Page 193, ligne 7, au lieu de il se trouvoit, lisez il se trouvât.
Page 199, ligne 1, au lieu de établi, lisez établir.
Page 215, ligne 13, au lieu de les, lisez ces.
Page 231, ligne 13, au lieu de 72 pouces, lisez 72 degrés.
Page 256, ligne 19, au lieu de 13,83, lisez 13,84.
Page 279, ligne 18, au lieu de rivières, lisez riverains.
Page 292, ligne 8, au lieu de parties, lisez pente.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

La science de l'hydraulique est une des plus importantes dans le commerce de la vie; et les savans les plus distingués en ont fait, à diverses époques, l'objet de leurs méditations. Depuis long-temps, les bases principales de cette science sont connues, telles que la cause de l'ascension des liqueurs dans les tuyaux purgés d'air; la perte des solides plongés dans les liquides, qui est proportionnelle au volume qu'ils déplacent; l'égalité de pression des colonnes fluides qui entretient leur niveau; la pression de l'eau en tout sens qui agit en raison de la base par la hauteur; enfin, la vitesse d'écoulement à la sortie des tuyaux, qui suit la proportion des racines carrées des hauteurs. On a fait

un usage utile de toutes ces bases, dans un grand nombre d'expériences, souvent d'une exécution très-délicate, mais qui ont présenté un accord satisfaisant avec les principes précédens.

Cependant il restoit beaucoup de phénomènes hydrauliques très-compliqués, qui paroissoient difficiles à soumettre au calcul, et qui ont mérité l'attention de plusieurs savans de grande réputation. En Italie, Guglielmini; en Allemagne, Euler fils; en France, d'Alembert et autres : ces hommes célèbres y ont employé l'analyse mathématique; et en adoptant chacun des marches aussi savantes que compliquées, ils ont fait faire des progrès à cette science; mais ils ont résolu plus de problèmes curieux et savans, que de généralement utiles.

Enfin, on le dit à regret, la nécessité et les besoins journaliers ont fait faire les premiers pas en hydraulique, et qui ont été les plus directement

utiles : depuis long-temps on naviguoit sur mer et dans les rivières, avant d'avoir été en état d'estimer la résistance que cause le sillage d'un vaisseau d'une grosseur et d'un tirant d'eau connu, qui marche suivant une vitesse indiquée ; on faisoit mouvoir des moulins à farine sur les rivières, pour la subsistance des diverses régions, avant d'avoir su calculer quel nombre de tours par minute devoit faire la roue d'un moulin à farine, et par suite la meule, pour procurer la meilleure mouture, et l'ouverture du pertuis qui devoit donner la vitesse convenable à cette roue, moyennant une charge connue ; mais la théorie a appris à faire l'usage le plus utile des forces dont on pouvoit disposer, ce qui est très-précieux en bien des cas.

On a des obligations à messieurs Mariotte, Couplet et Deparcieux, qui ont exécuté un certain nombre d'ex-

périences utiles sur l'hydraulique, et surtout au premier; mais beaucoup d'expériences de ce genre sont d'une exécution dispendieuse, et ont besoin du secours du gouvernement, pour être faites sur des dimensions d'une étendue suffisante. M. l'abbé Bossut a fait, sous ses auspices, beaucoup d'expériences intéressantes, particulièrement sur la dépense des réservoirs par divers orifices, sur l'écoulement des eaux dans des tuyaux de conduite, et sur la hauteur des jets relativement à celle des réservoirs; et il a fait à cet égard un bon emploi des principes connus de la théorie, et en a démontré la concordance avec un grand nombre d'expériences bien faites; mais la tâche la plus importante et la plus difficile qui restoit à traiter, concernoit les rivières.

On maîtrise aisément les eaux réduites en petit volume, contenu dans des bassins ou dans des tuyaux régu-

liers, avec des circonstances où les données sont déterminées, ou dont les changemens observent une marche régulière ; mais il n'en est pas de même de la masse d'eau que roulent des rivières plus ou moins grandes, sur des lits inégaux en largeur, dont les unes coulent sur la vase, les autres au milieu des roches, sur diverses profondeurs; ou bien celles qui charient des graviers en abondance, qui sont sujettes à changer fréquemment leur lit, qui forment des îles en certains cantons, tandis qu'elles en détruisent d'autres ; ou telles autres qui deviennent en certains momens des torrens rapides et dangereux, pour laisser ensuite leur lit presque à sec, et couvert de débris; enfin quelques-unes qui paroissent marcher pendant une partie de l'année, d'un cours assez réglé, et qui, s'élevant ensuite rapidement, sortent de leur lit ordinaire, rompent les digues qu'on leur op-

pose, couvrent des plaines cultivées, et portent le ravage dans les campagnes.

On doit juger, d'après tous ces détails, toute la difficulté qu'il y a à soumettre au calcul ces divers phénomènes.

Cependant, c'est la tâche que M. Dubuat a entreprise, dont il connoissoit néanmoins l'importance et la difficulté.

On lit, page 37 de son discours préliminaire:

Il est étonnant que dans un siècle aussi éclairé, on sache si peu de choses sur la résistance des fluides, et que tandis qu'on fait tous les jours usage de l'eau et de l'air pour mouvoir nos machines, ou conduire nos vaisseaux, nous n'ayons pas ou plus d'expérience, si la théorie est trop compliquée, ou plus de théorie, si elle est le fruit de l'expérience.

Mais décidé sans doute par le desir de se rendre utile, en triomphant de

ces grandes difficultés, après avoir posé ses premiers principes, et faisant d'ailleurs usage des bases connues, M. Dubuat s'est figuré que les fleuves ou rivières marchoient avec des vitesses uniformes, propres à chacun d'eux; et ayant reconnu par l'observation, que les rivières couloient en bien des cas dans des lits sinueux, et qu'elles avoient une vitesse plus grande vers le milieu de leur lit, il a supposé que les filets d'eau du milieu de leur cours, à la suite d'une partie droite, alloient frapper le sommet des courbes qui leur étoient opposées; et faisant alors un angle de réflexion égal à celui d'incidence, ces mêmes filets alloient ensuite choquer l'une ou l'autre rive, en faisant, suivant les cas, une ou plusieurs bricoles; que par ce moyen, ces bricoles concouroient à la formation des courbes que l'on remarque dans les lits de rivière, dont le développement étoit proportionnel

à leur rayon ; et que ces effets contribuoient selon lui à déterminer la largeur que doivent avoir les rivières, surtout vis-à-vis des coudes. En conséquence, après avoir tracé géométriquement dans un lit de rivière, les circonstances de son hypothèse, et ayant ensuite recours à l'analyse, il a formé des équations, dont il a tiré des formules qui ont fourni des expressions, qu'il a ensuite ajoutées à celles qu'il avoit précédemment calculées pour la vitesse supposée uniforme de chaque rivière.

C'est pourquoi M. Dubuat a pensé que la stabilité du lit d'une rivière devoit être déterminée d'après les principes précédens ; mais ayant d'ailleurs remarqué qu'il survenoit des changemens dans l'état des rivières, par l'effet des différentes crues, il a encore jugé qu'on pouvoit aisément connoître la dépense d'un fleuve ou d'une rivière par jour ou par an, pour

la totalité de son cours, ou pour un point quelconque, en calculant cette dépense d'après le produit annuel des pluies sur toute la superficie des terreins qui environnent la rivière principale et ses affluens, dont il suppose un quart versé dans le cours des rivières, et le surplus perdu en filtrations, évaporations, etc. C'est en faisant ses calculs d'après cette base, qu'il a cru reconnoître que le produit de la section moyenne d'une rivière, par sa vitesse aussi moyenne, formoit un total égal à la susdite dépense.

M. Dubuat a fait en conséquence des applications de ces moyens à la rivière de Seine, dont il présente dans un tableau, la superficie de tous les terreins qui la bordent, ainsi que celle de ses affluens, et qui tous y peuvent verser leurs eaux.

Il examine encore divers cas de l'écoulement des eaux, où la contraction de la veine fluide peut avoir lieu,

et chaque circonstance ajoute des expressions nouvelles à sa formule du mouvement uniforme, dont il fait un fréquent emploi dans le cours de son ouvrage. Enfin dans les cas trop compliqués qui concernent de grandes étendues de rivières, qui paroissent difficiles à soumettre à l'expérience, M. Dubuat a cru devoir assimiler les tuyaux de conduite aux lits de rivières, ainsi que d'autres auteurs l'avoient fait avant lui, et leur appliquer pareillement les expériences faites dans les tuyaux de conduite.

Tels sont les objets principaux du travail de M. Dubuat; mais si la doctrine des coudes étoit fondée sur des hypothèses qui ne sont nullement conformes aux effets naturels qui résultent du cours des rivières; si la figure de leur lit, et leur stabilité n'en dépendoient en aucune façon; si l'observation et l'expérience paroissoient

contraires à cette doctrine; si l'origine des crues de rivières, leur élévation et leur durée, bien qu'elles proviennent des pluies et de la fonte des neiges, n'étoient point en proportion de la superficie des terreins qui environnent la rivière principale et ses affluens, comme il l'a supposé ; si la surface du fond de l'eau d'un lit de rivière suivant son cours, n'étoit point parallèle à la surface coulante, comme M. Dubuat l'a énoncé; si la vitesse des rivières loin d'être généralement uniforme, étoit tantôt accélérée et tantôt retardée par suite de l'irrégularité de leurs pentes et des obstacles qui embarrassent leur lit, la supposition d'une vitesse constamment uniforme ne pourroit avoir lieu; si les circonstances qui accompagnent le cours des fleuves, présentant des disparités énormes avec les eaux qui coulent dans des tuyaux de conduite, ne permettoient pas d'en assimiler

les effets, il s'ensuivroit que les formules générales de M. Dubuat, ainsi que leurs expressions accessoires, cesseroient d'être applicables dans l'usage de la vie, et que tout l'édifice paroissant établi sur diverses hypothèses mal fondées, s'écroûleroit.

Mais ayant eu l'occasion d'observer par état et par circonstances, un grand nombre de rivières, de les parcourir depuis leur source jusqu'à leur embouchure, de les considérer dans le temps des hautes, moyennes et basses eaux, de remarquer les effets désastreux des torrens passagers ou du débordement des grandes rivières; la marche et les progrès des crues dans des lits plus ou moins irréguliers et coulant sur des pentes différentes, de visiter alternativement les pays de plaine et ceux de montagne, soit dans les momens de sécheresse, soit dans le temps des pluies abondantes avec durée, ou des neiges,

je me suis trouvé dans le cas de cumuler de nombreuses observations, que j'ai recueillies par amour pour la vérité et par l'intérêt qu'elle inspire, et j'ai cru reconnoître que ces diverses observations ne se concilioient nullement avec les hypothèses qui font le fondement de l'ouvrage de M. Dubuat sur les principes hydrauliques.

Cependant, les problèmes qu'il contient, sont la plupart aussi curieux qu'intéressans; et son œuvre, qui n'a pu être entrepris que par un homme instruit et familier avec l'analyse algébrique, lui a sûrement coûté un long travail, beaucoup de calculs, et il prouve son savoir et son génie. Mais ces mêmes motifs font d'autant plus regretter qu'il ne puisse remplir le but desiré, que l'auteur est le premier qui ait traité les questions principales comprises dans son ouvrage; que cet œuvre étoit devenu un livre classique, et que même d'autres auteurs, occu-

pés de cette science, ont en plusieurs circonstances fait usage des formules de M. Dubuat, en les considérant comme démontrées, ainsi que les hypothèses sur lesquelles elles sont fondées.

Cependant, si je me suis cru forcé d'énoncer des opinions différentes, je ne demande pas à en être cru sur parole; je provoque à cet égard un examen rigoureux. Dans ce dessein, j'ai tâché d'expliquer aussi clairement qu'il m'a été possible, les motifs qui m'ont fait rejeter les susdites hypothèses; cela tient à des explications géologiques sur la formation des fleuves et des rivières, et les changemens qu'ils subissent, suivant la rapidité de leur cours, et la consistance du sol sur lequel ils coulent; et enfin sur les effets qui en résultent, dont j'ai fait des applications particulières à plusieurs rivières connues.

En conséquence, c'est parmi les

lecteurs, surtout à ceux qui ont eu l'occasion d'observer le cours des rivières, à apprécier les opinions et explications que je substitue aux susdites hypothèses, et à juger si elles sont plus conformes aux effets naturels.

Quoi qu'il en soit, pour l'examen que j'ai fait des questions et des problèmes contenus dans l'ouvrage de M. Dubuat, en m'assujétissant à suivre l'ordre de son travail, chapitre par chapitre, j'ai, pour tous les articles importans, commencé par présenter littéralement le texte, et j'ai ensuite ajouté des observations ou des explications plus ou moins étendues à tous les articles qui m'en ont paru susceptibles, et suivant que je les ai cru conformes à l'ordre naturel des choses.

J'ose penser que mes démonstrations paroîtront fondées sur les principes, sur les faits, et sur un grand

nombre d'observations faciles à vérifier; mais, quoi qu'il arrive, je serai toujours porté à rendre justice au savoir et au génie de M. Dubuat, qui a ouvert la carrière, dont au surplus, tous les calculs m'ont paru exacts, et être la conséquence de ses données hypothétiques.

EXTRAIT

AVEC OBSERVATIONS ET COMMENTAIRE

DE L'OUVRAGE DE M. DUBUAT.

SUR

LES PRINCIPES DE L'HYDRAULIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DU MOUVEMENT UNIFORME ET VARIÉ DES EAUX COURANTES.

SECTION PREMIÈRE.

Théorie générale du mouvement uniforme de l'Eau.

CHAPITRE PREMIER.

Idée générale de la fluidité ; du mouvement de l'eau à la sortie des réservoirs. Différentes contractions d'orifice.

1. Dans ce numéro et dans les deux suivans, l'auteur s'occupe à donner une idée de la fluidité des liqueurs; ce phénomène est généralement connu par l'expérience, quoi-

qu'il paroisse difficile de comprendre comment un fluide composé de parties élémentaires si mobiles entre elles, et si peu adhérentes, sont incompressibles, ces faits sont journellement sous nos yeux ; mais il faut encore remarquer que toutes les espèces de liqueurs n'ont pas le même degré de fluidité et qu'elles diffèrent essentiellement par leur densité et leurs propriétés. Au reste, c'est de l'eau dont il est question dans ce traité.

4. On lit : « le premier phénomène et le » plus familier qu'on a dû observer, par » rapport au mouvement de l'eau, est la » vitesse avec laquelle elle s'écoule par une » ouverture ou orifice pratiqué au bas d'un » réservoir. On trouve que cette vitesse est » proportionnelle à la racine carrée de la » hauteur de la charge, c'est-à-dire, de la » hauteur verticale qui se trouve depuis la » surface du réservoir jusqu'au centre de » l'orifice ; ou, ce qui revient au même, » que les vitesses de l'eau qui s'écoule sous » différentes charges, croissent comme les » vitesses qu'un corps grave acquiert en » tombant de différentes hauteurs. »

Nota. On s'est ensuite bientôt aperçu que ce résultat n'étoit pas parfaitement exact, et qu'il se trouvoit constamment un

déchet qui étoit l'effet d'une cause particulière nommée contraction, qu'il est essentiel de connoître et savoir apprécier. Les diverses circonstances du mouvement des eaux ont présenté plusieurs cas qu'il a paru important de savoir calculer. On peut les réduire, dit l'auteur, à quatre principaux. 1°. Quand un réservoir se vide par un orifice percé d'une mince paroi; 2°. quand on emploie un tuyau additionnel d'une certaine longueur; 3°. quand on oblige l'eau à passer par un tuyau fermé, ou dans un canal ouvert dont la section est constante et la longueur assez grande pour que le mouvement y devienne uniforme; 4°. quand l'eau s'échappe par les reversoirs ou deversoirs. M. Dubuat observe que les deux premiers cas ont été savamment traités par M. l'abbé Bossut, et qu'il se propose de traiter le troisième avec quelque étendue, et de parler aussi du quatrième.

5. *Nota.* Il est important de ne point oublier qu'ayant nommé g la vitesse acquise par un grave à la fin de la première seconde, et h la hauteur du fluide, cette vitesse par seconde est exprimée par $\sqrt{2g}\sqrt{h}$, ou $\sqrt{724}\sqrt{h}$, en prenant le pouce pour

l'unité de mesure, vu que M. Dubuat fait par la suite un fréquent usage de cette expression.

6. On lit : « M. l'abbé Bossut a observé » que le point de la plus grande contraction » est distant du plan de l'orifice, d'une lon- » gueur à-peu-près égale à son rayon, » et que le diamètre de la veine contractée » est à celui de l'orifice, à-peu-près dans le » rapport de 10 à 12,25, tellement que l'aire » de l'orifice est à l'aire de la veine con- » tractée, comme 8 à 2 environ.

Nota. 1°. On a nommé dépense naturelle, celle qu'on obtiendroit en multipliant l'aire de l'orifice A par la vitesse, elle est exprimée par $A\sqrt{724h}$. La seconde se nomme dépense effective, elle est le produit de la vitesse par l'aire de la veine contractée, et nommant K le déficit de cette dernière dépense sur la première, l'expression sera $\sqrt{724-K}\sqrt{h}$. Ainsi la dépense effective nommée $D=A\sqrt{724-K}\sqrt{h}$, on a fait $724-K=478$.

Nota. 2°. Dans les numéros suivans, l'auteur indique plusieurs espèces de contractions par des orifices d'un à deux pouces de diamètre et sous des charges différentes,

ainsi que les effets qui en résultent, ce qu'il faut lire dans l'ouvrage.

CHAPITRE II.

Principe du mouvement uniforme; similitude entre les tuyaux de conduite et le lit des rivières; formule primitive du mouvement de l'eau dans un lit quelconque.

14. (page 18.) *Nota.* M. DUBUAT annonce qu'il se propose d'examiner les lois que suit l'eau en vertu de sa fluidité, pour couler dans le lit des rivières, des canaux et des tuyaux, en conservant les vitesses qu'elle y acquiert, à raison de sa pente et des dimensions du lit qui la renferme. Il ajoute que cette matière a été si peu approfondie jusqu'à ce jour, malgré l'utilité dont doit être une théorie exacte sur cette partie de l'Hydraulique, qu'elle peut passer pour neuve.

15. On lit : « le mouvement de l'eau qui » coule, dans le lit d'un fleuve, pour s'aller » jeter dans la mer, est dû à deux causes : » 1°. à l'action de la pesanteur, qui oblige » les corps à descendre sans cesse, quand » aucun obstacle ne les arrête ; 2°. à la » mobilité des parties de l'eau, qui leur

» fait prendre un niveau parfait dans les » vaisseaux clos, ou les détermine à s'é- » couler du côté où elles éprouvent moins » de résistance ».

Nota. L'auteur tire de ces faits incontestables son premier principe savoir, *que la force motrice de chacune des molécules d'eau qui composent une rivière, provient simplement de la pente qu'elle acquiert à sa surface.*

16. *Nota.* Dans ce numéro en considérant la pente d'une rivière, on suppose que la pente du fond du lit est communément parallèle à celle de la surface, ce qui dans le fait n'est nullement exact.

18. M. Dubuat observe que les fleuves doivent couler plus vite vers les pôles, que vers l'équateur à pente égale, parce que la gravité y est plus grande; mais d'un autre côté la fluidité de l'eau est plus grande sous l'équateur et vers les pôles lorsque l'eau n'est pas encore gelée, elle est dans un état qui souvent approche du terme de la glace.

19. On lit : « Si l'eau n'éprouvoit au- » cune résistance de la part du lit dans » lequel elle coule, si l'attraction des parois » de son lit étoit nulle, si la fluidité enfin » étoit parfaite, sa force accélératrice,

» c'est-à-dire, sa pesanteur relative, accé-
» lèreroit continuellement son mouvement,
» et précipiteroit son cours, à la manière
» des corps graves, qui tombent librement;
» c'est-à-dire, qu'elle acquerreroit sans
» cesse de nouveaux degrés de vitesse. »

Cette hypothèse et ses conséquences paroissent incontestables.

20. M. Dubuat a conclu des explications précédentes le principe suivant : *quand l'eau se meut uniformément, la résistance qu'elle éprouve est égale à la force accélératrice.*

Nota. Il faut supposer que la force motrice étant la même, n'éprouve dans sa marche que des résistances égales, et que l'eau qui se meut avec l'excès de vitesse restante, conserve la portion de vitesse qui lui est nécessaire pour vaincre les nouveaux obstacles qui peuvent se présenter, et conserver sa vitesse.

21. (page 24.) *Nota.* Il paroît évident, comme le dit l'auteur, que la dépense d'une rivière est égale à la surface de sa section multipliée par la vitesse moyenne, dans un temps donné; mais la grande difficulté consiste à déterminer cette vitesse moyenne, parce qu'il est difficile de se la procurer par

des expériences, surtout dans les rivières un peu considérables. C'est pourquoi l'auteur a cru, par analogie et pour simplifier, devoir assimiler les tuyaux réguliers, aux lits de rivière, et d'après des expériences faites sur des tuyaux de conduite, établir une théorie qu'il a cru généralement applicable.

22. *Nota.* L'auteur, dans ce paragraphe d'après les fig. 1 et 2 de la planche première (1), présente deux réservoirs disposés pour procurer des écoulemens par divers tuyaux inclinés ou horizontaux, avec une même hauteur de charge, pour en faire la comparaison.

23. (page 27.) *Nota.* 1°. Comme le mouvement dans un tuyau horizontal ou incliné peut être rapporté à celui d'un autre tuyau incliné, dont la charge est égale à la hauteur due à la vitesse dans le tuyau, et que dans ce cas, la force accélératrice est égale à la résistance; l'auteur en conclut *qu'on peut considérer ce dernier tuyau comme une rivière dont la pente et le lit sont constans.* Mais on croit devoir objecter que sur

(1) L'objet est si simple que l'on a cru inutile de copier ces deux figures.

une certaine étendue, par exemple de plusieurs kilomètres, il n'existe pas de lit de rivière dont la pente et le lit soient constans. On pense qu'il ne subsiste aucune régularité ni dans sa pente, ni dans sa largeur ou les contours de son lit; à moins que ce ne soit un canal factice.

25. *Nota.* Il est essentiel de ne pas perdre de vue, les dénominations principales dont M. Dubuat fait un fréquent usage pendant le cours de cet ouvrage, et être prévenu qu'on a pris le pouce pour l'unité de longueur, et la seconde pour l'unité de temps; la pente est toujours exprimée par $\frac{}{}$, en supposant que sur la longueur b, il y a un pouce de différence de niveau. On lit ensuite : *dans toute pente uniforme la résistance qu'éprouve une colonne d'eau, d'une longueur quelconque, est égale au produit du poids absolu de cette colonne multipliée par la pente.*

26. L'auteur suppose que les résistances croissent comme les carrés des vitesses, et qu'en nommant m une quantité constante, elles sont égales à $\frac{V^2}{m}$, en exprimant par g la vitesse acquise par un

grave à la fin d'une seconde, $\frac{R}{b}$ sera la force accélératrice relative à la pente $\frac{1}{b}$, ainsi on aura $\frac{V^2}{m} = \frac{R}{b}$ et $V\sqrt{b} = \sqrt{mgR}$ et $V = \frac{\sqrt{mgR}}{\sqrt{b}}$ égale la formule première de toutes les vitesses uniformes.

CHAPITRE III.

L'expérience prouve que les résistances d'un même lit croissent en moindre raison que le carré des vitesses; comment la grandeur et la figure du lit influent sur les vitesses.

27. (page 30.) L'AUTEUR observe, d'après un grand nombre d'expériences, que les vitesses prises dans un même lit, ne sont pas exactement constantes; il en a conclu *que les résistances sont en moindre raison que le carré des vitesses, ou que les vitesses augmentent plus que les racines des pentes; . . . tellement que* $\sqrt{b}$ *ne doit pas être employé dans toute l'intégrité de sa valeur, mais doit être diminué.*

Dans le même paragraphe, l'auteur présente un tableau comparatif de théorie et d'expériences faites avec des tuyaux de con-

duite d'une ligne $\frac{1}{2}$, de 2 lig., 2 lig. $\frac{2}{10}$, d'un pouce, de 16 lig., de 2 pouces de diamètre, d'un canal trapèze de 18 pouces, d'un canal rectangulaire de 105 pouces, et sur une rivière de 30905 et 567 pouces de paroi.

28. *Nota.* On remet à s'expliquer ultérieurement sur ces expériences comparatives; on a cru par ce motif, devoir se dispenser de copier ce tableau; mais, suivant l'auteur, il paroît résulter des susdites expériences que les valeurs de V X on $\sqrt{mg}$ constantes pour un même lit, sont variables quand les lits sont différens.

29 et 30. *Nota.* Dans ces numéros on a désigné par r le rayon des tuyaux de conduite, ou la hauteur moyenne d'un lit de rivière, en observant que $\sqrt{mg}$ doit être en raison de $\sqrt{r}$ pour des lits différens, et que $\frac{\sqrt{mg}}{\sqrt{r}}$ devroit être une quantité constante.

On trouve à la suite un tableau qui tend à déterminer les valeurs de $\sqrt{r}$, $\sqrt{mg}$ et de $\frac{\sqrt{mg}}{\sqrt{r}}$ d'après des tuyaux de conduite de différens diamètres.

31. M. Dubuat examine dans ce numéro l'effet de l'adhésion de l'eau aux parois d'un tuyau ou d'un lit quelconque, et il cite plusieurs expériences à ce sujet.

J'ai éprouvé, dit-il, qu'une surface de fer blanc de 23 pouces quarrés a enlevé, avant que de se séparer de l'eau, un poids d'eau de 1601 grains ; c'est 70 grains par pouce carré, ou une hauteur d'eau de 0,1877 pouce. Une autre surface de 5,63 pouces carrés a enlevé de même un poids d'eau de 365 grains. C'est 64.83 grains par pouces carré, ou une hauteur de 0.173 pouces.

M. Dubuat pense que cet effet équivaut à un retrécissement de lit, mais qui doit être plus sensible dans les petits lits que dans les grands.

CHAPITRE IV.

Considérations générales sur la nature de la résistance causée par le frottement.

34. (page 40.) L'EAU est supposée formée de globules durs, polis, incompressibles et qui ne se touchent qu'en un point.

Nota. C'est d'après cette hypothèse que quelques physiciens ont supposé qu'entre le vide qu'il doit y avoir entre les globules, il se trouve une certaine quantité de calo-

rique qui existe sans interrompre leur contact, mais que suivant les circonstances une plus grande quantité en écartant les parties, occasionneroit des déplacemens et par conséquent du mouvement.

35. Suivant l'auteur, l'eau par l'effet de la pression mouille les parois, pénètre les pores, remplit les vides, et il se forme une surface plus unie sur laquelle roulent et coulent les globules en mouvement. Il y a attraction entre les globules et les molécules des parois, ce qui contribue un peu à retarder la vitesse, et cette inertie se communiquant de proche en proche, il s'ensuit que la vitesse des eaux d'un lit de rivière est rallentie vers les rives, et plus accélérée dans le milieu.

Nota. Cette explication a paru plausible.

37. Suivant l'auteur, chaque globule d'eau étant forcé de se mouvoir sur une file de parties semblables, les résistances sont proportionnelles aux vitesses; mais comme le nombre des obstacles augmente dans le même rapport, il s'ensuit que les résistances doivent croître comme le quarré des vitesses. Cependant l'expérience apprend qu'elles n'augmentent pas exactement dans ce rapport.

41. L'auteur présente un petit tableau duquel il paroît résulter que les vitesses à pentes égales sont sensiblement proportionelles à la racine carrée du rayon moyen moins un dixième, $\sqrt{r-0,1}$.

CHAPITRE V.

Recherches sur le rapport qu'il y a entre les vitesses de l'eau et la pente de son lit.

42. (page 48.) ON lit : « Si on compare » deux à deux les vitesses produites dans » un même lit par des pentes différentes, » on trouvera que le rapport des vitesses » surpasse constamment celui des racines » quarrées des pentes, ou comme on l'a » dit (27), que les vitesses croissent en » plus grande raison que les racines des » pentes; plus la différence des pentes sera » grande, plus les rapports différeront » entre eux. »

Nota. L'auteur, d'après ses expériences et celles de MM. l'abbé Bossut et Couplet, présente, (page 50) un tableau du mouvement de l'eau dans un tuyau de conduite avec des pentes différentes, dans la vue de confirmer les propositions précédentes. Ce

tableau est divisé en sept colonnes, la première indique le numéro de l'expérience;

La deuxième colonne exprime la pente du lit.

La troisième indique les valeurs de la racine carrée de b, ou de l'inverse de la pente;

La quatrième, la valeur de la vitesse conclue de l'expérience;

La cinquième, les valeurs de $V\sqrt{b}$;

La sixième indique les valeurs de $\sqrt{b}$ dans deux pentes;

La septième, les différences correspondantes des valeurs de $V\sqrt{b}$ prises dans deux pentes.

Nota. On s'est dispensé de copier ce tableau, qui présente quinze cas différens. Toutes ses expériences sont supposées avoir été faites dans un tuyau de 4.84 pouces de de diamètre, dont les pentes soient variées depuis la verticale jusqu'à $\frac{1}{9288}$.

CHAPITRE VI.

Suite des recherches pour rendre générale la formule du mouvement uniforme; effets de la viscosité de l'eau.

Nota. (page 55.) POUR donner une idée convenable de ce que contient ce chapitre,

on a cru nécessaire de copier en entier deux articles, l'un parce qu'il énonce des principes dont on fait usage par la suite, et l'autre parce qu'il présente des observations physiques qui ont paru exactes et bien rédigées.

46. On lit : « Puisque la formule

$$V = \frac{A}{\sqrt{b} - L\sqrt{b}}$$

» s'accorde avec l'expérience dans tous les » cas où la pente n'est pas plus grande que » $\frac{1}{20}$, et qu'elle donne de trop petites vi- » tesses, quand la pente devient plus » grande, nous avons dû conclure qu'il s'y » trouvoit quelque quantité négligée, dont » l'influence n'étoit sensible que pour de » petites valeurs de $\sqrt{b}$. Nous avons vu en » effet que le rapport de $\frac{\sqrt{b}}{\sqrt{b} - L\sqrt{b}}$ doit » augmenter jusqu'à l'infini, à mesure que » $\sqrt{b}$ diminue. Cependant si l'on fait » $\sqrt{b} = 1$, la quantité totale se réduira à » l'unité ; elle sera encore moindre si on » fait $\sqrt{b}$ plus petit ; et si on cherche son » *maximum*, on verra qu'il répondra à » $L\sqrt{b} = 1$. Alors le rapport est $\frac{2,71828}{1,71828}$, » au-delà de ce terme il diminue.

» 49. (page 59.) On lit, après avoir

» déterminé comment le frottement, l'adhé-
» sion de l'eau aux parois, et la communi-
» cation de l'inertie du lit à toute la masse
» unie, influoient sur la résistance ; il ne
» reste plus à examiner qu'un élément,
» qui n'est sensible que dans les petites
» vitesses, surtout quand les lits sont con-
» sidérables.

» La viscosité de l'eau, ou l'adhérence
» que ses particules ont entre elles, occa-
» sionne une résistance très-petite, mais
» finie, qui s'oppose sans cesse à leur sépa-
» ration. Or, il ne peut y avoir de mouve-
» ment uniforme dans l'eau, sans que ses
» filets ne prennent différentes vitesses,
» selon qu'ils sont plus ou moins proches
» de la paroi, qui retarde et rend uniforme
» le mouvement de toute la masse. Cette
» inégalité ne peut avoir lieu sans une sé-
» paration mutuelle des parties contigues.
» La viscosité, ou si l'on veut la force avec
» laquelle ces parties s'attirent, s'oppose
» à cette séparation ; il faut donc qu'il y
» ait constamment une partie de la force
» accélérative destinée à vaincre cette résis-
» tance ; et lorsque la force accélératrice
» est assez petite pour lui être seulement
» égale, le mouvement doit cesser, quoique

» la pente soit finie. S'il existoit un fluide » dont les parties n'eussent aucune adhé- » rence entre elles, la plus petite pente pos- » sible suffiroit pour lui imprimer un mou- » vement; mais les différens liquides con- » nus éprouvant plus ou moins l'effet de » la viscosité, la pente à laquelle ils com- » mencent à couler est d'autant plus grande » que l'adhérence de leurs parties les éloigne » moins de la nature des solides. Cet élé- » ment est donc variable, suivant la diffé- » rence des fluides, et il s'agit seulement » ici d'en fixer la valeur relativement à » l'eau. »

Nota. Le principe physique et les effets de la viscosité ont paru bien décrits dans le numéro précédent. Il est certain, 1°. que l'eau qui a une tendance à se mouvoir sur un plan incliné, a à vaincre non-seulement le frottement contre les parois de la section du lit, mais encore la viscosité, c'est-à-dire la force nécessaire pour désunir les parties similaires réunies par une attraction.

2°. Quoiqu'on sache que la résistance causée dans l'eau par la viscocité, soit beaucoup moindre que celle occasionnée par le frottement, il paroît néanmoins à peu près impossible d'assigner quelle est la portion

de résistance qui appartient à l'une ou l'autre cause.

3°. Lorsque l'eau sur un plan très-foiblement incliné, ne paroît avoir que la force nécessaire pour commencer à couler, il ne seroit point exact de dire qu'elle n'a que la force nécessaire pour vaincre la viscosité, parce que pour passer du repos au mouvement, il faut que la masse d'eau puisse vaincre simultanément les résistances causées par le frottement, l'inertie et la viscosité. Au surplus on pense que toute évaluation hypothétique que l'on pourroit faire sur la résistance particulière de la viscosité, seroit imaginaire, et ne pourroit être d'aucune utilité dans l'application.

CHAPITRE VII.

Formule générale des vitesses moyennes uniformes de l'eau dans un lit quelconque. Analyse de cette formule. Cause de l'anéantissement de la vitesse.

Résumé des principes.

51. (Page 62). *Nota.* COMME l'auteur dans le cours de son ouvrage fait un fréquent usage de la formule des vitesses uniformes dans un lit quelconque, on a cru

devoir copier les dénominations qu'il a adoptées pour son calcul et même sa formule; il a nommé, savoir :

V La vitesse moyenne et uniforme par seconde, exprimée en pouces, d'un courant quelconque, contenu dans un lit, dont la section et la pente sont constans, et la longueur indéfinie.

r Le rayon moyen, c'est-à-dire le quotient de la section du lit, exprimée en pouces carrés, divisée par sa paroi, exprimée en pouces linéaires : dans les lits circulaires, ce rayon moyen est toujours exprimé par le quart du diamètre.

n Un nombre abstrait et constant, que l'expérience donne égal à 243,7.

g La vitesse acquise à la fin d'une seconde, par un corps grave qui tombe librement; on sait qu'elle est égale à 362 pouces.

b Le dénominateur de la fraction qui exprime la pente du lit ou de la surface de l'eau, en supposant le numérateur égal à l'unité : ainsi, une pente d'un pouce sur mille est $\frac{1}{1000}$ et $b = 1000$.

c Un nombre abstrait et constant que l'expérience donne égal à 1, 6 ou $\frac{16}{10}$, on aura :

$$V = \frac{\sqrt{ng}(\sqrt{r}-0,1)}{\sqrt{b}-\text{L}.\sqrt{b+c}} - 0,3(\sqrt{r}-c,1);$$

ou en nombres :

$$V = \frac{297\,(\sqrt{r}-0,1)}{\sqrt{b}-\text{L},\sqrt{b+1,6}} - 0,3(\sqrt{r}-c,1).$$

Nota. Diverses suppositions de valeur dans les dénominations précédentes, fournissent à l'auteur des explications pour divers cas.

53. *Nota.* On observe dans ce numéro que pour une pente d'un millionième il n'y a plus d'écoulement, et que la pente la plus petite qu'on puisse donner à un canal, pour que la vitesse y soit sensible, doit être de $\frac{1}{30000}$ environ $\frac{1}{6}$ de ligne par cent toises.

(Page 66). M. Dubuat cite des expériences qu'il a faites, suivant lesquelles dans un canal factice dont la pente étoit fixée à $\frac{1}{9288}$, la vitesse de l'eau étoit de 6 pouces; que dans un autre canal de dessèchement près Condé, dont la pente étoit de $\frac{1}{27000}$, la vitesse avoit 7 pouces, et que dans une partie de la rivière de Hayne, dont la pente étoit de $\frac{1}{33000}$, la vitesse s'est trouvée être de 10 pouces par seconde.

Nota. On voit qu'il résulte de ces expériences que la vitesse des eaux a été plus

grande dans les cas où la pente étoit la plus foible, ce qui devoit être le contraire.

M. Dubuat ajoute qu'il ne faut pas raisonner contre les faits, et il avoue qu'il est difficile de fixer quelque chose de positif à cet égard.

Nota. Il ne faut pas sans doute opposer des raisonnemens vagues à des faits bien constatés, mais on ne doit faire usage des faits ou expériences précédentes qu'avec circonspection, jusqu'à ce qu'on en ait bien constaté toutes les circonstances.

On lit, page 67: « Si on cherchoit la » pente que devroit avoir un canal de dessè- » chement pour couler avec une vitesse d'un » pouce par seconde, en supposant qu'il » fût de figure trapèze, dont la largeur à » la surface de l'eau fût de 20 pieds, celle » du fond 14, la profondeur de l'eau 3 » pieds, en sorte qu'il dépensât 7344 pouces » cubes par seconde, on trouveroit par la » formule précédente que sa pente doit être » de $\frac{1}{367256}$. »

L'auteur convient que ce résultat ne paroît pas d'accord avec une expérience de M. l'abbé Bossut; mais il observe qu'il y avoit des disparités entre les expériences, en ce que l'expérience de M. Bossut a été

faite dans des tuyaux de 16 à 24 lignes de diamètre, et dont les rayons diminuoient lors de l'écoulement.

54. *Nota.* L'auteur rappelle les divers principes et hypothèses qui ont servi de base à sa formule. 1°. Il suppose que les molécules de l'eau sont des corps d'une ténuité inimaginables, parfaitement sphériques, durs et polis.

2°., dit-il: « Les rivières ne peuvent couler » sans une pente à leur surface, et c'est la » force qui en résulte qui est le seul agent » de leur mouvement.

» 3°. Lorsque la vitesse moyenne d'une » eau courante est uniforme, la force ac- » célératrice fait équilibre avec la résistance » des bords.

» 4°. Les molécules d'eau s'introduisent » dans les pores de la paroi, et remplissent » toutes les petites cavités de sa superficie; » ainsi elles forment elles-mêmes la surface » sur laquelle toute la masse doit couler.

» 5°. La surface des parois mouillées est » un assemblage de globules, sur lesquels » coulent les autres particules mobiles, d'où » il résulte une résistance proportionnelle » au carré des vitesses, quand l'engrenage » des molécules est complet, c'est-à-dire

» dans les petites vitesses : mais comme cet » engrenage diminue à mesure que les vi- » tesses augmentent, la résistance devient » à peu près nulle, à proportion de la vi- » tesse, quand celle-ci devient infinie, et » d'après ce principe et l'expérience, la re- » lation entre la vitesse et la pente est expri- » mée par $V = \frac{\sqrt{mg}}{\sqrt{b} - L\sqrt{b} + 1,6}$.

» 6°. La résistance que les molécules » éprouvent sur la paroi se communiquant » à toute la masse, celle qui en résulte » pour chaque molécule est en raison directe » de la paroi et inverse de la section.

» 7°. Chaque molécule éprouvant une » résistance relative à la distance à la paroi, » les vitesses particulières doivent varier » avec les distances, et les molécules se sé- » parer continuellement.....

» 8°. Parmi les différentes vitesses des mo- » lécules, il en est une moyenne entre toutes » les autres..... c'est celle que nous » avons considérée dans la formule comme la » seule qui soit relative à la dépense, et sa » valeur générale est

$$V = \frac{297\,(\sqrt{r} - 0,1)}{\sqrt{b} - L\sqrt{b} + 1,6} - 0,3\,(\sqrt{r} - 0,1).$$

CHAPITRE VIII.

Accord de l'expérience et de la théorie sur le mouvement uniforme des eaux.

55 et 56. (Page 71). *Nota.* DANS ces numéros on présente plusieurs tableaux d'expérience sur le mouvement uniforme; savoir:

Dans le premier tableau on fait usage de tuyaux de $\frac{3}{4}$ de lignes, de 1 li. 5, de 2 li. 9, et d'un pouce de diamètre, et de 12 à 36 pouces de longueur, verticaux et inclinés, et avec des hauteurs de réservoirs différentes.

Le second tableau offre des expériences faites par M. l'abbé Bossut avec des tuyaux horizontaux d'un pouce, 16 et 24 lignes de diamètre, et des hauteurs de réservoirs depuis 4 jusqu'à 24 pouces. Un autre présente des expériences de M. Couplet sur des tuyaux de 5 à 18 pouces de diamètre.

Ensuite des expériences sur un canal factice, dont la section est trapèze, et ensuite rectangulaire, et enfin sur des canaux fournis par les rivières du Jard et de la Haine.

On a cru inutile de copier les tableaux qu'on trouvera dans l'ouvrage de M. Dubuat.

SECTION II.

Théorie du lit des fleuves.

57. (Page 79). *Nota.* CE numéro contient l'indication des objets qui doivent être traités dans la deuxième section.

CHAPITRE PREMIER.

De la figure des lits des fleuves ou d'un courant quelconque.

Nota. DANS les numéros 58, 59 et 60, l'auteur considérant que le frottement est d'autant plus grand que le périmètre offre plus d'étendue, et que le cercle est la figure qui renferme le plus de surface avec un moindre périmètre, en conclut que les tuyaux de forme circulaire doivent occasionner moins de frottement. Il observe ensuite que les figures rectangulaires conviennent mieux aux aquéducs, et les figures trapèzes aux rivières.

Les principes que ces articles renferment paroissent incontestables.

61. (Page 85). *Nota.* Il paroît constant, comme l'observe l'auteur, que dans les ri-

vières dont la largeur est très-grande, en comparaison de la profondeur, on peut, sans erreur sensible, prendre leur profondeur par le rayon moyen, et dans ce cas leurs vitesses uniformes à même pente sont comme les racines carrées de leur profondeur.

CHAPITRE II.

Des différentes vitesses de l'eau dans un courant uniforme. Comparaison de celles de la surface et du fond.

64. (Page 88). ON lit : « Quand un cou-
» rant est bien réglé, l'eau y coule uniformément sans former de rides à sa surface,
» ni de tourbillon dans son intérieur; et cha-
» que filet a une vitesse propre, qui est
» constante, et avec laquelle il glisse entre
» les filets supérieurs et inférieurs. »

Nota. Pour que cet effet eût lieu, il faudroit supposer un canal factice régulier, dont le fond et les rides très-unis fussent exempts d'aspérités, et dont la largeur et la direction fussent constantes et uniformes. Or, c'est ce qui n'existe dans le lit d'aucune rivière sur une certaine étendue, mais quelquefois accidentellement sur une petite longueur. Quoi qu'il en soit, il paroît constant

que la vitesse moyenne du courant d'une rivière indiquée, seroit celle qui, multipliée par une section moyenne, quelle qu'elle soit, donneroit un produit égal à la somme des produits de chaque point par la vitesse particulière.

66. (Page 91). On lit: « Il résulte de nos » expériences, 1°. que la vitesse à la surface » étant connue, si on extrait la racine carrée de cette vitesse par seconde, exprimée » en pouces, et qu'on en retranche l'unité, » cette quantité, élevée au carré, sera la » valeur de la vitesse de l'eau au fond du » lit. 2°. Que la vitesse moyenne est moyenne » arithmétique entre la vitesse à la surface » à celle du fond.

» Nommant v la vitesse à la surface, U la » vitesse au fond, et V la vitesse moyenne, » on aura les deux équations,

» $U = \sqrt{v-1}$ et $V = \frac{v+U}{2}$.

(Page 93). *Nota.* On trouve à la suite une table de vitesse au fond d'un lit quelconque, et des vitesses moyennes de ce lit, correspondantes à celles de la surface, croissantes depuis 1 jusqu'à 100 pouces par seconde.

Nota. Cette table, qui a dû coûter beau-

coup de travail à l'auteur, a été totalement calculée d'après ses formules.

69. *Nota.* On ne peut ignorer que par des expériences on peut ordinairement déterminer la vitesse qu'un lit de rivière peut avoir à la surface vers le milieu de son lit, d'où il suit qu'on devroit en conclure, d'après les susdites formules, la vitesse du fond et la vitesse moyenne; mais on croit devoir observer qu'il ne paroît pas suffisant dans une rivière qui auroit 1, 2, 3 ou 400 mètres d'étendue, de connoître par expérience la vitesse de la surface au milieu du lit, parce que même dans un cours direct, les filets qui coulent parallèlement entre eux, ne marchent pas avec la même vitesse que ceux du milieu du cours.

CHAPITRE III.

De l'action réciproque que le lit et le courant exercent l'un sur l'autre. Expression générale de la résistance.

71. M. DUBUAT a fait des expériences dont l'objet est très-intéressant pour déterminer à quelles vitesses sont capables de résister ou de céder différentes natures de terres ou de matières dont il avoit fixé les pesanteurs

spécifiques, et il a reconnu que le sable commençoit à résister à une vitesse de 6 pouces dans le fond, ou de 12 pouces à la superficie ; que les graviers de la Seine, divisés en trois classes, fin, moyen et gros, ont de la stabilité aux vitesses de 4, 7 et 12 pouces ; que les galets arrondis d'un pouce de diamètre, résistent à une vitesse de 24 pouces ; et enfin le silex de la grosseur d'un œuf résiste à une vitesse de 36 pouces.

Nota. On a remarqué que M. Dubuat a fait les précédentes expériences en petit, et dans des canaux dont le fond étoit formé par des madriers en bois. Or les matières quelconques placées sur ces lits factices, ne sont pas dans la même situation que celles qui se trouvent dans le fond des rivières, où elles sont plus ou moins engrainées ; ainsi elles pourroient céder à une foible vitesse sur un lit de madriers, tandis qu'elles résisteroient à une plus forte, lorsqu'elles reposent sur un terrein diversement composé, et sur la surface duquel elles se trouvent plus ou moins engagées.

Au reste, l'expérience fait voir que les matières dont les particules prises horizontalement doivent céder aisément à telle vitesse, résistent néanmoins davantage en

masse. Par exemple, dans le lit de la Seine, si les graviers étoient forcés de céder à une vitesse de 12 à 15 pouces par seconde, suivant leur grosseur, il n'en resteroit pas dans le fond du lit de la Seine qui a, dit-on, une vitesse de 25 pouces. Or il est de fait qu'il existe constamment une grande épaisseur de matières graveleuses dans le lit de la Seine, et quoiqu'on ne cesse pas d'en extraire toutes les années de grandes quantités au-dessus et au-dessous du pont des Tuileries et du pont des Arts et ailleurs, néanmoins les fouilles sont comblées à mesure par des graviers qui arrivent de superficie; et lorsque le fond s'est nivelé et a pris son assiette, il n'y a plus que quelques graviers isolés qui coulent de superficie.

On observera encore que la Seine qui peut avoir, comme on l'a dit, 25 pouces de vitesse par seconde dans les basses ou moyennes eaux, doit avoir plus de 36 pouces de vitesse lors des grands débordemens, et surtout alors sous les arches du pont des Tuileries; cependant l'expérience prouve que les jetées de moellons qui garnissent le pied des piles de ce pont, résistent à la vitesse du fleuve, parce qu'ils sont les uns encastrés dans le fond du lit, et les autres engrénés entre eux.

On aura par la suite occasion de donner plus de développemens à ces effets physiques.

OBSERVATIONS

Applicables à plusieurs des chapitres précédens.

ON a observé au sujet des diverses expériences présentées précédemment dans plusieurs tableaux, concernant la vitesse uniforme des rivières et canaux, qu'en effet les canaux factices réguliers paroissoient avoir des rapports avec les tuyaux de conduite, et que les petites portions de rivière qui présentoient de la régularité dans leur section et leur pente, s'en rapprochoient aussi à certains égards, lorsqu'on les considère sur une petite étendue. Mais en admettant les expériences énoncées dans ces tableaux, pour les circonstances où elles ont été placées, on ne les croit pas littéralement applicables aux cours ordinaires des rivières, parce que les rivières ne sont point formées comme on les a supposées; et que les irrégularités nombreuses d'un lit de rivière qui succèdent à une petite partie régulière, détruisent les effets résultans d'un calcul fondé sur des dimensions constantes et connues.

On a supposé des largeurs de lit uniformes ou moyennes, et en outre que la surface du cours d'une rivière étoit toujours parallèle au fond du lit, de sorte que leur pente étoit égale. Or rien n'est si rare ; cependant l'expérience prouve qu'il s'établit dans quelques petites parties de rivières des pentes et des vitesses assez uniformes sur une certaine longueur, mais on trouve qu'ensuite la pente et la vitesse diminuent ; qu'en continuant il survient des mortes qui ont quelquefois 1000, 1500 et 2000 mètres d'étendue, plus ou moins, et où sur la fin les eaux paroissent stagnantes, ensuite on rencontre des pentes rapides où la vitesse paroît s'accélérer ; mais bientôt à la suite ces pentes et ces vitesses diminuent simultanément. Or, dans les parties où la vitesse est moindre, et où l'eau acquiert de la profondeur, le fond du lit éprouve peu de variations, tandis que la même rivière déplace et charie beaucoup de matières dans les parties les plus courantes, et va les déposer plus ou moins loin, à mesure que la vitesse se ralentit. J'ai constaté ces changemens de pente du fond du lit, en parcourant en bateau plusieurs rivières (1),

(1 La Meurthe, la Moselle et la Sarre : la Moselle

l'une sur neuf lieues de longueur, et l'autre sur environ quinze lieues, en suivant le fil de l'eau, et prenant des sondes de 200 en 200 mètres; et les ayant ensuite répétés au bout de deux ans, j'ai trouvé très-peu de changement, surtout dans les parties où la vitesse étoit moindre. J'ai donc ainsi reconnu que les pentes du fond du lit n'étoient nullement parallèles à la surface du cours d'une rivière. Mais j'ai observé qu'indépendamment de la pente du fond du lit suivant la longueur du fil de l'eau, les variations ne sont pas moins fréquentes dans la largeur des sections; qu'elles sont causées par des bancs de sable ou roches répandus dans le lit, qui s'élèvent plus ou moins, par les îles qui rompent le fil de l'eau, par la figure des rives et les changemens des principales directions; mais il paroît vraisemblable que sans ces causes multipliées, la vitesse première s'accélèreroit surtout vers l'origine des rivières où la pente est plus forte; mais il

---

et la Meurthe depuis Nanci jusqu'à Corny; la Sarre depuis Sarre-Louis jusqu'à l'ancienne abbaye de Metteloche. (J'en ai donné le détail avec explication dans mon ouvrage sur les *Rivières et Torrens*, pag. 85 et suivantes.)

n'en est point ainsi : et si l'on observe une portion de rivière d'une certaine étendue, on reconnoîtra que les premières vitesses acquises sont sans cesse détruites par une multitude d'obstacles répétés, se régénèrent plusieurs fois, et vont toujours en diminuant, en marchant vers l'embouchure de la rivière.

J'aurai occasion par la suite de donner plus d'extension à mon opinion.

CHAPITRE IV.

Etablissement du lit des rivières. Des accrues permanentes. Régime du lit. Des accrues accidentelles ou périodiques.

(Page 105), *Nota.* Les numéros 75, 76, 77, 78, 79 et 80 contiennent l'exposé du système de l'auteur sur la formation du lit des fleuves et des vallées. J'ai énoncé mon opinion particulière à cet égard dans mon dernier ouvrage sur les *Rivières et Torrens*, pag. 24 et suivantes, et j'y fais le monde plus ancien que M. Dubuat; c'est au public à choisir laquelle de ces deux explications des révolutions du globe lui paroîtra la plus vraisemblable; mais comme ces diverses explications géologiques ne paroissent pas de-

voir influer ni sur la théorie, ni sur les expériences de M. Dubuat, je n'en dirai rien ici.

CHAPITRE V.

Des sinuosités du lit des rivières. De la stabilité de la figure du lit dans le cours direct, ou aux coudes.

82. (Page 116). On lit: « Tout dans la » nature est assujéti à la loi d'équilibre; cette » loi est le modérateur universel du mou- » vement..... Elle trouve son application » dans l'établissement du lit des rivières, » dans la détermination même de la figure » de la section et de l'angle sous lequel il » peut s'écarter de la ligne droite pour chan- » ger la direction de son cours.

83. On lit: « Dans un régime parfait un » lit de rivière a de la régularité dans ses » dimensions générales de largeur et de pro- » fondeur..... Lorsque le terrein d'un » lit n'est pas homogène, cela donne lieu » à des changemens de section..... Par » exemple, si on voit une rive fort plate, » et l'autre beaucoup plus rapide, on peut » être assuré que l'une est formée d'un ter- » rein sans consistance, et l'autre d'un sol » plus tenace, ou que le fond du lit est irré-

» gulier; car le lit doit naturellement obser-
» ver de la régularité et de la symétrie dans
» sa section. »

Nota. Il est incontestable que dans un canal ou un lit de rivière factice, dont la direction première seroit droite sur une certaine étendue, dont la section en forme de trapèze auroit des talus réglés à raison de deux fois la hauteur, ou proportionnés à la nature du terrein délavé, dont le fond du lit seroit bien dressé, et où enfin l'eau couleroit sur un terrein parfaitement homogène, il est certain, dis-je, que cette rivière ou canal en courant suivant la vitesse qui résulteroit de la pente de son lit, devroit conserver sa forme régulière, parce qu'il n'y auroit aucune raison pour qu'elle attaquât plutôt une rive que l'autre; et en supposant que la vitesse pût altérer la stabilité du fond, les changemens qui pourroient survenir, vu l'homogénéité du lit et l'uniformité de la pente devroient s'opérer avec régularité. Mais malheureusement toutes ces suppositions n'existent pas dans l'ordre naturel; les largeurs de lit, les contours des parois de sections, les vitesses et la nature du terrein, tout est plus ou moins irrégulier, et toutes ces variations de circonstances, en faisant

naître des effets différens, produisent de perpétuels changemens dans le lit des rivières qui paroissent inexplicables, parce qu'on n'aperçoit qu'une partie des causes qui les produisent, et qu'il y en a beaucoup d'essentielles qui échappent à la plupart des observateurs.

Quoi qu'il en soit, j'ai souvent eu occasion de reconnoître que dans plusieurs circonstances le cours principal se portoit de préférence sur la rive où le terrein avoit le plus de ténacité, surtout dans les coudes, et rejetoit ensuite les matières détachées sur la rive opposée, qui étoit formée de terrein sablonneux et sans consistance, et que souvent après un laps de temps par l'effet de plusieurs autres causes, on voyoit plusieurs portions de lit changer de forme et de direction, ou à la suite d'une moyenne crue, abandonner la rive qu'elle corrodoit ci-devant, pour se jeter sur la rive opposée, et combler les profondeurs qu'elle avoit fouillées et suivies pendant plusieurs années.

Je pourrois citer dans un grand nombre de rivières plusieurs lieux où ces effets se sont renouvelés à ma connoissance, mais j'aurai encore des occasions par la suite d'en parler avec plus de détail.

M. Dubuat a annoncé ci-dessus qu'après de grands changemens dans le globe de l'univers, les rivières avoient été fixées dans les vallées qu'elles parcourent aujourd'hui, et persuadé qu'elles y ont pris une sorte de stabilité permanente, il s'est proposé dans ce chapitre de déterminer la figure que prennent les lits de rivières, les causes des changemens qu'elles paroissent avoir adoptés, et d'après quels principes les coudes ont dû se former. Il a senti, que bien qu'à certains égards, quelques portions de rivières pussent être comparées à des tuyaux de conduite inclinés suivant une pente donnée, il restoit encore des différences notables. Il a observé qu'en coupant ces tuyaux sur leurs longueurs, et après avoir enlevé la partie supérieure, il en résultoit des canaux de forme demi-circulaire; mais il a pensé que dans le fait, la section des lits de rivière ressembloit plutôt à un trapèze à cause de ses rives en talus, qu'à un demi-cercle.

En conséquence il a entrepris d'expliquer comment il arrive par suite d'inégalité, de ténacité dans le terrein des bords des rivières, qu'il s'y forme divers coudes: il a cru remarquer que les courbes que chaque rivière affecte pour son lit, étoient déterminées

d'après des principes invariables qui avoient des rapports certains avec la largeur desdites rivières, et qu'elles pouvoient être déterminées d'après des principes théoriques. Dans ce dessein il a considéré la masse fluide coulant dans un lit de rivière en ligne droite, comme composée d'une somme de filets d'eau qui marchent parallèlement entre eux, mais avec des vitesses inégales, parce que ceux vers la rive sont retardés par l'effet du frottement. Il a ensuite supposé que lorsqu'il survient un coude, les filets du milieu du lit alloient frapper le point ou sommet de la courbe qui est opposé à leur direction, et se réfléchissoient ensuite en faisant un angle de réflexion égal à celui d'incidence, c'est ce qu'il appelle une bricole; qu'enfin lorsque la courbe a un plus grand développement, ou une plus forte inflexion, c'est parce qu'il y a eu dans ce cas plusieurs bricoles, comme on le voit dans les figures 9 et 12 de la planche première; et comme son tracé est nécessairement relatif à la largeur qu'il suppose à la rivière, il a pensé qu'en connoissant la nature et le nombre de coudes, on devoit être en état de déterminer la largeur des rivières d'après des principes de théorie.

Propositions préparatoires de l'auteur.

86. (Page 121). ON lit: « Pour que le lit » d'une rivière ait de la stabilité à l'arron- » dissement d'un coude, il faut, 1°. que la » profondeur de l'eau y soit plus grande » qu'ailleurs; 2°. que le fil de l'eau du milieu » du lit, après avoir frappé la digue ou la » rive concave de l'arrondissement, soit ré- » fléchi sous le même angle dans la ligne du » milieu au-dessous du coude; 3°. que l'an- » gle d'incidence soit proportionné à la téna- » cité du terrein; 4°. qu'il y ait à ce coude » une augmentation de pente ou une charge » capable de vaincre la résistance du coude. »

Nota. Voilà ce que l'auteur suppose et ce qu'il tâche d'expliquer ou de démontrer par la figure 9 de la planche première, où l'on voit, suivant le tracé, que la ligne du milieu du lit d'un cours droit va frapper le sommet concave de la courbe pour se réfléchir suivant la direction du cours inférieur, en faisant un angle de réflexion égal à celui d'incidence, et c'est ce qu'il appelle une bricole, et la figure 12 en suppose d'eux, etc. Mais nous ne croyons pas ces explications conformes aux effets naturels. C'est pourquoi nous n'adoptons point la supposition

que ces filets du milieu des lits traversent tous les filets latéraux qui longent la concavité de la rive gauche pour aller frapper le sommet de la courbe, et se réfléchir comme l'auteur le prétend; et même on n'admet dans cette circonstance ni les tournoiemens, ni les remoux tels qu'il les explique: enfin nous pensons que la formation des courbes que pratiquent les rivières est absolument indépendante des prétendues bricoles, et c'est en observant un grand nombre de rivières dans les coudes qu'elles décrivent, que nous croyons avoir vu des effets contraires. Il y a beaucoup de rivières importantes, telles que la Loire, dont le commencement d'une grande crue s'annonce par une grande quantité de flocons d'écumes flottantes, qui couvrent pendant plusieurs jours une partie de son lit; on voit tous les flocons que cette rivière charrie partager la vitesse des différentes parties de son lit; on les voit retardés par le frottement des bords et par la rencontre des îles; on en voit de stationnaires à la tête de quelques îles. On remarque ensuite l'effet des remoux au-dessous desdites îles, causés par la rencontre des deux courans. On en voit d'autres se précipiter vers la concavité des courbes, en

ralentissant une vitesse précédemment accélérée, et prendre ensuite des directions curvilignes qui participent de la figure de la rive. Mais je n'ai jamais vu les filets du milieu traverser tous les autres, et rompre leur direction curviligne pour venir frapper le sommet de la courbe : enfin pour mieux me faire entendre, je vais pour expérience proposer que dans la partie droite d'un lit de rivière qui précède un coude ou une courbe, on répande de la bale d'avoine en grande quantité sur la surface de son cours et sur une certaine étendue, mais que les particules de bales répandues sur la première moitié, à gauche de la largeur du lit du côté de la concavité, aient été teintes en rouge, et que celles répandues sur l'autre moitié du lit l'aient été en noir, afin de pouvoir mieux reconnoître et suivre leurs mouvemens. Maintenant si nous observons la marche de ces divers corpuscules, en supposant, comme l'auteur, le cours de la rivière divisé en filets d'eau parallèles à la direction générale, on verra dans la partie où le cours est droit, ces divers filets marcher parallèlement avec des vitesses inégales; on remarquera que les filets du milieu ont une plus grande vitesse, et que la vitesse de ces divers filets diminue

en s'approchant des rivages : ensuite en arrivant à la courbe, on verra les filets de la rive gauche se rapprocher entre eux par degrés, et former des faisceaux qui prennent une direction curviligne ; leur vitesse d'abord précipitée vers la concavité, se ralentit ensuite peu à peu à cause de l'augmentation de frottement et des résistances causées par les changemens de direction de la rive. Dans le même temps, en examinant les corpuscules de la rive opposée, on voit les filets s'écarter par degrés jusques vers le sommet de la convexité, ensuite se rapprocher et augmenter leur vitesse après avoir dépassé le sommet de la courbe, en la contournant ; enfin après avoir passé ladite courbe, pour suivre une partie droite, les filets d'eau reprennent leur parallélisme et leurs vitesses respectives, comme avant le passage de la courbe.

Il résulte de ces expériences ou observations qu'on peut facilement exécuter, que ce ne sont pas les filets d'eau du milieu du cours qui viennent frapper le milieu de la concavité, pour ensuite se réfléchir par un angle égal à celui d'incidence ; mais que la forme des rivages force les filets d'eau à se courber par une suite infinie de résistances

et d'inflexions successives ; et que si par hasard quelques filets du milieu parviennent vers le sommet de ladite courbe, ils sont bientôt entraînés par une direction curviligne commune.

Problème pour déterminer les angles de bricole, et tracer les courbes des lits de rivière d'après ces principes.

Voyez les figures 9 et 12.

(Page 125). *Nota.* La solution de ce problème est fondée sur les hypothèses et observations de l'auteur précédemment citées, et qu'on lit depuis la page 118 jusqu'à 122. Or, ces observations une fois admises en principe, le problème y paroît bien appliqué, et les conclusions sont incontestables, ainsi que les calculs et leurs conséquences.

CHAPITRE VI.

Du tracé des sinuosités des rivières.

94. (Page 130). ON lit : « Supposant » donné le plus grand angle de bricole qui » convient au régime d'une rivière, dont » la largeur est donnée, tracer les sinuosités » que cette rivière doit prendre pour avoir » de la stabilité. »

Nota. L'auteur, d'après les principes précédemment adoptés par lui, a cherché la manière dont on peut contourner un lit de rivière pour le faire passer à un point quelconque, pour alonger ou raccourcir son cours, de manière à ménager sa pente et lui donner la vitesse du régime convenable et de la stabilité dans ses divers coudes ; et il paroît très-convaincu que les coudes ou courbes formés d'après ces principes et décrits en conséquence, doivent être permanens.

Nota. 2°. On ne prétend pas nier que d'après les principes précédemment posés, et la théorie que M. Dubuat en a déduite, on ne puisse déterminer des lits de rivières avec les contours qu'ils devroient suivre ; mais comme dans la réalité ces effets dépendent de plusieurs causes qui ne m'ont pas paru avoir été ni bien observées, ni bien décrites, ni s'accorder avec les susdites hypothèses, je suis convaincu que dans le fait, les rivières ne suivront pas les courbes décrites suivant ces principes. J'ajouterai que non-seulement il est très-difficile de faire prendre aux rivières moyennes ou petites la courbure de lit qu'on désire, mais que très-souvent elles abandonnent des redressemens tracés avec dépense, pour reprendre d'anciens contours,

ou en former de nouveaux. Enfin, on le répète en vain, l'auteur prétend expliquer, par le rayon des bricoles, que les eaux sont supposées faire contre le sommet des rives concaves, la forme et l'étendue des courbes qu'elles doivent adopter, ainsi que la stabilité de leur lit et la largeur qui doit en résulter. On pense que dans l'ordre ordinaire les rivières ne se conforment nullement à ces résultats, et on pense que l'auteur, au lieu de se faire une théorie dans le cabinet, d'après les principes généraux de l'hydraulique, d'après un tracé conditionnel et des hypothèses incertaines, auroit dû suivre attentivement le cours de plusieurs rivières très-sinueuses, et sans s'en rapporter aux cartes gravées, observer sans prévention leurs contours plus ou moins fréquens et la nature du terrein de leurs rives, et nommément la rivière de Marne, depuis Châlons jusqu'à Charenton ; la Meuse, depuis Soulose, à l'embouchure du Vair, jusqu'à Verdun, et un grand nombre d'autres dans le même cas qu'on se dispense de citer. Je ne parle pas des courbes que les rivières sont forcées de décrire à cause des coteaux qui les bordent, mais des courbes qu'elles paroissent former et adopter spontanément dans des parties où

leur lit principal est établi sans gêne dans de vastes prairies qu'elles couvrent dans tous les débordemens, et qu'elles abandonnent aussitôt après pour rentrer dans leur lit sinueux: il remarqueroit les rivières multiplier leurs contours sans cause apparente, en adopter de plus ou moins grands, et sembler retarder à plaisir la rapidité de leur cours par des retours souvent répétés; il verroit ces rivières, malgré ces divers contours, conserver à peu près la même largeur moyenne de lit, lorsqu'elles ne reçoivent pas de changement par des affluens; il verroit enfin que les augmentations de largeur que les rivières prennent en certains cas, sont au contraire des cas d'exception qui tiennent à des causes particulières, quelles qu'elles soient.

96. (Page 135). On lit: « Si on suppose » le plus grand angle de bricole, compa- » tible avec le régime égal à 36 degrés, le » diamètre du plus petit arrondissement en » demi-cercle, doit surpasser sept fois la » largeur de la rivière, et ne peut contenir » moins de trois bricoles; s'il s'y en forme » quatre, le diamètre de l'arrondissement » excédera trois fois la largeur de la rivière; » s'il s'y en forme cinq, le diamètre excédera » vingt fois la largeur de la rivière, et ainsi » de suite. »

Nota. Cependant malgré les règles qu'on a cherché à établir, la théorie des bricoles a paru en défaut à l'auteur même, dans les applications qu'il en fait à la suite à des localités connues ; « car, dit-il même article, la » Marne au-dessus de Lagny ayant un rayon » de 600 toises et trois bricoles, dans un » angle de coude de 50 degrés, doit donner » 84 toises de largeur, suivant la théorie..... » tandis que la Seine, au-dessous du con- » fluent de la Marne, faisant un arrondis- » sement de 1,000 toises de rayon pour deux » bricoles, devroit n'avoir que 72 toises de » largeur, c'est à-dire moins que la Marne. »

Nota. Mais on n'ignore pas que les faits sont absolument contraires à ces conséquences.

Ensuite on lit (136) : « On peut encore remar- » quer que la Seine à Dacles, au-dessous de » Rouen, formant une courbe à trois bri- » coles, avec 15 à 1,600 toises de rayon, in- » dique (suivant la susdite théorie), une » largeur de 228 toises, et le grand arron- » dissement vis-à-vis de Rouen, composé » de 4 bricoles, devroit indiquer, suivant » l'auteur, 3,000 toises, tandis qu'il n'a que » 2,100 toises (1).

(1) La traverse de la Seine à Rouen n'est que de 120 toises vis-à-vis le pont de bateaux.

Nota. On pensera sans doute que ces citations doivent confirmer l'imperfection de cette théorie des coudes, et sans nous y arrêter davantage, nous croyons devoir régler notre opinion d'après des observations que nous avons répétées, qui ont été faites sur plusieurs portions de rivières d'une certaine étendue, et qui paroissent prouver que chaque rivière agit en vertu de plusieurs causes locales, pour augmenter ou diminuer certaines courbes de son lit; mais c'est particulièrement dans le temps des crues moyennes que les rivières dont le cours est encaissé dans des prairies attaquent les rivages, comme on a eu occasion de le dire ailleurs; c'est surtout un peu avant de déborder et de s'extravaser au-delà des rives ordinaires; mais les changemens qui surviennent s'opposent avec plus ou moins de promptitude ou de lenteur suivant les circonstances; ils dépendent beaucoup de la force des rivières, de la ténacité du terrein où elles coulent, des variétés qui se rencontrent dans le fond du lit ou sur les rives, de la fréquence ou de la rareté des débordemens dans une année ou dans une même saison, et de diverses causes qui n'ont pas été jusqu'ici bien observées.

On ajoutera que certaines rivières dans leur cours s'étendent souvent aux dépens des bords pour former de nouvelles îles; et si le temps permet à ces îles d'acquérir quelque consistance, de se couvrir de végétaux, de saules, d'oseraies, etc.; alors ces îles en résistant au choc des eaux, réagissent de nouveaux vers les rivages; mais pour bien juger tous ces effets il faudroit, comme on l'a dit, en les parcourant au temps des hautes, moyennes et basses eaux, avoir un plan à la main du cours de la rivière, dressé sur une échelle de 1,500 pour un, prendre des repères relativement à la forme des rives et des îles, et vérifier au bout de quelques années les premières observations, en constatant les changemens; et l'on remarqueroit surtout que les rivières à fond de gravier se partagent souvent en différens bras lorsqu'elles en ont la liberté. Alors il s'y forme des îles hautes et un plus grand nombre d'îles basses. Les unes affleurent les grands débordemens, d'autres ne dépassent pas les moyennes crues, et d'autres enfin ne découvrent jamais entièrement. Mais toutes ces îles qui forment dans le cours principal des points résistans, font réfléchir la masse d'eau qui les rencontre suivant diverses directions.

Or, ce sont essentiellement ces îles souvent noyées ou découvertes, dont on se défend mal, dont les effets sont rarement aperçus, et qui agissent puissamment pour produire des changemens dans le cours des rivières.

Voilà ce qui n'a jamais été écrit ni convenablement observé.

98. (Page 137). On lit: « Quand on est » déterminé à revêtir en mâçonnerie l'arron- » dissement d'un coude de rivière, on peut » fixer à volonté le nombre des bricoles » qui y formera le fil de l'eau; mais il ne faut » pas oublier que plus l'angle de bricole sera » grand, plus il faudra approfondir le lit » dans l'étendue de l'arrondissement et en- » foncer par conséquent à proportion la » fondation des murs de revêtement, qui » courroient risque sans cette précaution » d'être déchaussés par le courant. »

Nota. Il paroît s'ensuivre de l'article précédent que si dans une portion de rivière où le cours est droit, il étoit nécessaire de fonder un mur de revêtement, par exemple à la profondeur d'un demi-mètre au-dessous de l'étiage, il faudroit, en proportion du rayon de la courbe et du nombre de bricoles supposées, doubler ou tripler la profondeur des fondations, ce qui ne paroît nullement

admissible, parce que lorsque les moyens de fondation desdits murs ont été combinés pour leur plus grande solidité, le degré de résistance dont ils sont susceptibles est indépendant, et n'a aucun rapport avec le rayon plus ou moins grand de la courbe que forme le lit dans cette partie, et des prétendues bricoles qu'on suppose avoir contribué à la former.

Au surplus, on pense qu'il convient d'établir que chaque rivière, suivant sa force, sa vitesse, et la nature du terrein sur lequel elle coule, conserve non-seulement une profondeur moyenne, mais que les affouillemens qu'elle peut produire pour chaque canton, ont des limites qu'elles outrepassent rarement.

Au reste, les profondeurs d'eau des rivières mesurées en été, au temps des basses eaux, vont ordinairement en s'augmentant depuis leur source jusqu'à leur embouchure, à cause des affluens qu'elles reçoivent et les affouillemens au-dessous de l'étiage paroissent suivre la même progression.

C'est d'après ces faits et observations que je pense qu'il seroit essentiel de visiter attentivement le cours des principales rivières, afin de constater dans chaque canton leur

profondeur d'eau moyenne au-dessous de l'étiage, ainsi que les fouilles accidentelles et extraordinaires qui s'y rencontrent.

Beaucoup de rivières vers leur origine sur une certaine étendue, après être sorties des gorges des montagnes, conservant une forte pente, coulent rapidement sur un fond assez plat; et si elles ne sont pas contenues par des coteaux ou par des digues, s'étendent en largeur, et fouillent alors très-peu au-dessous de l'étiage; mais quoiqu'elles charrient beaucoup de matières, elles paroissent en rapporter autant qu'elles en emportent, ce qui maintient à la même profondeur la stabilité de leur lit.

Cependant, dans les rivières dont le cours a une grande étendue, on remarque des changemens notables relativement à la stabilité du fond, il y a des cantons où le fond du lit paroît s'exhausser graduellement avec le temps, quelques-uns où il s'approfondit et de très-grandes longueurs où il paroît stationnaire; on constate cette dernière situation d'après des monumens qui les bordent, qui datent de plusieurs siècles, et dont le niveau des fondations paroît se maintenir à la même profondeur, et on reconnoît en d'autres cantons par d'anciens édifices qui

s'encombrent sans cesse par des dépôts annuels que le lit s'exhausse. Nous avons à cet égard cité des faits importans dans notre ouvrage sur les *Rivières et Torrens*.

Nota. De quelque valeur que soient nos objections contre la doctrine des coudes dans les rivières, nous allons néanmoins continuer à en présenter les développemens d'après l'auteur.

CHAPITRE VII.

De la résistance occasionnée par les coudes du lit des rivières et des tuyaux de conduite. Mesure de cette résistance. Augmentation de la pente naturelle.

102. (Page 141). ON lit: « Nous cherchons » ici à déterminer quelle est en effet dans » la nature la résistance que produit le coude » d'une rivière, c'est-à-dire quelle partie » de la force accélératrice est détruite par » la déviation des filets, qui se plient dans » un lit tortueux, en quittant leur première » direction, pour en prendre une autre. En » supposant les coudes et les arrondissemens » tracés suivant les principes du chapitre » précédent, ce qui est une condition abso- » lument nécessaire pour que la loi de la

» résistance soit constante, on peut présu-
» mer d'abord que cette résistance est d'au-
» tant plus grande que le carré de la vitesse
» est plus grand, c'est-à-dire qu'elle lui est
» proportionnelle. Considérant ensuite que
» la veine fluide enfermée et contenue dans
» le lit, est obligée de se plier d'autant plus
» que l'angle sous lequel elle est censée frap-
» per la berge et se réfléchir est plus grand,
» on peut, suivant la théorie ordinaire du
» choc des fluides, supposer la résistance
» proportionnelle au carré du sinus des an-
» gles d'incidence; et enfin s'il se trouve
» plusieurs bricoles égales ou inégales, dans
» une longueur donnée du lit, la résistance
» se répétera autant de fois qu'il y aura de
» bricoles. »

103. On lit: « Ainsi nommant V la vitesse
» moyenne d'un courant uniforme, s le sinus
» de l'angle de bricole, et m un nombre
» constant, la résistance d'une bricole seroit
» représentée par $\frac{V^2 s^2}{m}$, et celle de plusieurs
» bricoles égales seroit $\frac{V^2 s^2 n}{m}$, en nommant
» n le nombre de bricoles. »

(Page 144). *Nota.* 1°. L'auteur convient dans la suite de cet article, qu'il est difficile

pour vérifier la concordance de cette théorie avec l'état des fleuves, de faire d'exactes observations sur les rivières naturelles un peu grandes, à cause de la variété de leur lit, et qu'il étoit même encore très-difficile d'en faire sur un canal factice qu'il faudroit modeler et régler, et dans lequel en commettant les moindres erreurs, la foible résistance de quelques coudes pourroit échapper à l'observateur. C'est pourquoi il a eu recours aux tuyaux de conduite qui permettent l'avantage de la facilité de la charge et de la dépense, sans compter qu'on y peut produire de très-grandes vitesses, et y varier à peu de frais les arrondissemens et les angles des bricoles.

Nota. 2°. Cependant nous croyons devoir objecter qu'il y a un si grand nombre de disparités entre le lit d'une rivière considérée sur une étendue de plusieurs kilomètres, et des tuyaux de conduite en métal d'un ou deux pouces de grosseur, et de 20, 30 ou 100 pouces de longueur, où l'on fait couler de l'eau, que la théorie de l'auteur pourroit s'accorder avec les effets de l'écoulement dans ces tuyaux, sans être applicables aux rivières.

Les tuyaux formés de cuivre, de fonte, de

plomb ou de ferblanc, présentent aux fluides des parois de matière homogène, et où le frottement doit être uniforme sur leur longueur et dans leurs contours : au contraire, le lit des rivières est communément formé de matières hétérogènes, composé de parties inégalement résistantes, et souvent meubles.

Les tuyaux ont des grosseurs uniformes, et les courbes qu'on y forme ont de la régularité, tandis que les rivières ont non-seulement des largeurs inégales, mais elles opposent des inégalités de profondeur sur la longueur et largeur de leur lit. Or, ce sont essentiellement ces inégalités du fond du lit qu'on ne peut connoître que par des sondes multipliées, qu'on ne fait point entrer dans le calcul, parce qu'on ne les aperçoit point à la vue, et qui produisent tant de changement dans les vitesses partielles et dans les vitesses communes les plus sensibles ; c'est pourquoi ces grandes disparités paroissent suffire pour qu'une théorie qui seroit applicable aux eaux coulantes dans des tuyaux réguliers, ne le fût pas au cours des rivières et à la forme que prend leur lit.

Mais je crois encore devoir ajouter que je suis persuadé que même dans les tuyaux de matière métallique, les filets d'eau n'agis-

sent point sur les parois suivant les principes de la théorie ; et pour en obtenir la conviction, je supposerai des tuyaux quelconques, susceptibles d'être à volonté successivement inclinés à l'horizon de 5, 10 ou 15 degrés plus ou moins. Je les supposerai en outre applatis en dessous, pour se rapprocher de la figure d'un lit de rivière, et qu'ils aient au moins une longueur triple de leur hauteur ; de plus que la partie supérieure soit enlevée, pour donner la facilité de voir et observer les matières pendant leur écoulement.

Je ferai d'abord couler dans ces tuyaux des matières terreuses sèches, friables et diversement colorées, ensuite des matières visqueuses, des huiles, des émulsions et enfin de l'eau : bien entendu qu'on donnera dans tous ces cas une pente suffisante auxdits tuyaux, pour faciliter le mouvement ou l'écoulement des matières suivant leur nature, et pour entretenir une certaine vitesse, pendant la durée de leur écoulement. Je supposerai encore que ces tuyaux auront une première partie droite et formeront ensuite des coudes, suivant une courbe plus ou moins développée. Or si on commence par y faire couler ou glisser des matières solides mais

divisées, friables et sans agrégation sur une pente suffisante, on verra dans la partie droite, les particules de matière qui occupent le milieu, marcher avec plus de vitesse, que celles vers les bords, et ensuite ces matières se plier à l'arrivée des coudes et glisser quoique plus lentement en contournant la concavité des courbes qu'elles rencontrent.

Si l'on y faisoit ensuite couler des matières fluides mais visqueuses, telles que des huiles, que l'on soupoudreroit de sciure diversement colorée, on verroit encore que ce ne sont pas les matières du milieu qui viennent frapper le sommet du coude pour se réfléchir vers l'autre rive, en faisant des angles de réflexion égaux à ceux d'incidence. Mais on remarqueroit la marche des matières près des rives, qui en approchant de la concavité se courbent et contournent les parois suivant le tracé du coude : car enfin on peut considérer ces courbes comme des polygones d'une infinité de côtés qui présentent une suite de petites facettes avec des directions différentes, qui pressent successivement les filets qui les avoisinent et les font participer à leur direction. C'est ainsi que ces fluides se communiquent de proche en proche leur mouvement, de façon que la masse coulante

adopte un mouvement commun qui en est le résultat. Ainsi on la verroit se plier suivant la concavité de la courbe ; mais on ne verroit pas les filets du milieu résister à cette pression latérale, et au mouvement qui leur est communiqué, pour traverser les filets qui avoisinent les rives, afin d'aller choquer le sommet de sa courbe et y former des bricoles, comme la précédente théorie le suppose.

N°. 45. La page 147 présente une table d'expériences faites avec des tuyaux d'un pouce de diamètre, et qui ont depuis 117 jusqu'à 138 pouces, c'est-à-dire 9 pieds 9 pouces et 11 pieds 6 pouces de longueur. On détermine les vitesses par secondes dans des tuyaux droits ou coudés ; pour un certain nombre de bricoles, avec des augmentations de charges, suivant l'expérience ou suivant la théorie comparées, où l'on trouve à-peu-près les mêmes résultats.

Nota. 1°. Il paroît que les tuyaux dont on a fait usage, sont posés verticalement, qu'ils sont fermés et de figure à-peu-près cylindriques, ce qui est fort différent de l'hypothèse précédemment faite pour les lits des rivières. Au reste, quelque puissent être les mouvemens et la marche des filets d'eau dans ces tuyaux, qu'ils se plient en vertu d'un

effort commun, ou qu'ils bricolent suivant la susdite théorie pour arriver à la sortie des tuyaux coudés, ou non, il paroît constant par ledit tableau que lesdites expériences diffèrent très-peu de la théorie.

Nota. 2°. On auroit cependant desiré des tuyaux d'une plus grande longueur pour ces expériences; parce que dans les rivières, ce sont surtout les changemens qui surviennent dans leurs lits sur plusieurs kilomètres de longueur, qui dérangent le résultat des vitesses (1).

106. (Pag. 148). « ON a vu (22 et 23), » que le mouvement uniforme dans un » tuyau incliné, étoit le même que celui » d'une rivière; ainsi on doit conclure que » quand une rivière forme des sinuosités qui » se répètent à peu près régulièrement par » intervales égaux, sa pente est composée » de celle qui est nécessaire pour vaincre la » résistance de son lit, conformément à la » formule du mouvement uniforme, plus » celle qui est nécessaire pour vaincre la ré- » sistance de ces coudes ».

---

(1) Nous ajouterons d'autres observations essentielles sur ces expériences, dont les tableaux sont répétés dans le deuxième volume.

107. Exemple d'application d'après la théorie précédente, de laquelle il résulte qu'une pente égale à $\frac{1}{16200}$ ne produit réellement qu'une vitesse due à $\frac{1}{21600}$ à cause de la résistance des coudes.

SECTION III.

Application de la théorie du mouvement uniforme à la pratique.

108. (Page 151). INDICATION des objets qui doivent être traités dans cette section.

CHAPITRE PREMIER.

Des accrues permanentes des rivières; des hauteurs de leurs sources; des accrues périodiques.

109. L'AUTEUR dit au sujet de ses expériences, sur la résistance du sol à une vitesse qui l'attaque en raison de sa ténacité et de son inertie; que le canal dont il a fait usage avoit pour fond un madrier qui donnoit peu d'appui au gravier ou galet arrondi, etc...; mais qu'il est constant, dit-il, que dans chaque espèce de sol il y a une vitesse proportionnée à ce sol, qui est trop petite pour

creuser et approfondir le lit, ou trop grande pour permettre qu'il s'exhausse et se remplisse.

PROBLÊME PREMIER.

110. ON lit : « La quantité d'eau que doit » dépenser une rivière étant connue, ainsi » que la vitesse de régime, déterminer la » plus petite pente que son lit puisse avoir, » et les dimensions de ce lit ».

SOLUTION, etc.

PROBLÊME II.

112. ON lit : « La dépense d'un fleuve » étant connue, en un lieu quelconque de » son cours, ainsi que sa pente et la vitesse » de régime, déterminer les dimensions de » son lit ».

SOLUTION, etc.

Application des deux problèmes précédens à la pente de la Seine et à sa section.

113. POUR cette solution, l'auteur suppose qu'il tombe année moyenne 18 pouces d'eau

dans le climat que la Seine parcourt, depuis sa source, jusqu'à son embouchure à Quillebœuf, sur tous les terreins environnans, et que le quart est employé à sa dépense moyenne; que les trois autres quarts s'écoulent par les crues extraordinaires et fournissent à l'évaporation, ainsi qu'à la nutrition des plantes.

Il fait ses évaluations en toises et en pieds carrés et trouve que pour chaque mille superficiel, il tombe 13,500,000 pieds cubes d'eau au profit des rivières en 365 jours, ou en 31,556,736 secondes pour chaque mille carré.

Il établit que la totalité du terrein qui fournit les eaux que la Seine dépense à son embouchure, est de 20,465 mille carrés, depuis Quillebœuf, jusqu'à la source de la Seine ou de la Marne, au-dessus de Langres, sur une longueur de 215 mille. Le terrein est partagé en deux parties inégales dont 11,136 mille à droite, et 9,329 à gauche; et il en donne les détails suivans :

	Superficie en mille.	Dépense moyenne par seconde en pieds cubes.
Terreins environnans, depuis la source de la Seine, jusqu'à l'embouchure de l'Ourse . .	413	95,613
Depuis l'embouchure de l'Ourse, jusqu'à celle de l'Aube.	722	373,683
Les terreins environnans, depuis l'Aube, jusqu'au confluent de l'Yonne.	1545	1066,077
Ceux de l'Yonne et de l'Armençon, jusqu'au confluent de la Marne.	6018	3102,405
Superficie des terreins environnant la Marne jusqu'au confluent de l'Oise.	4014	5368,245
Depuis le confluent de l'Oise, jusqu'à celui de l'Yrton. . .	5350	7566,712
Depuis le confluent de l'Yrton, jusqu'à Quillebœuf. . .	2403	8574,395
	mille.	pieds.
TOTAL. . . .	20465	26,147,132

115. (P.161.) En faisant les calculs pour la résolution du problême précédent d'après les données ci-dessus, on trouveroit que la source de la Seine ne seroit élevée que de 153 pieds au-dessus de la mer, ce qui est évidemment beaucoup trop foible; mais, dit l'auteur, « si le lit » de la Seine, au lieu d'être direct d'une crue » à l'autre, comme on l'a supposé, faisoit des

» sinuosités qui doublassent son cours entier, » comme cela a lieu à peu de chose près, de » Paris à Rouen, le lit de la plus petite pente » deviendroit alors de 306 pieds, au lieu de » 153, et il s'en faudroit encore beaucoup que » cette hauteur approchât de la véritable, etc. »

Nota. 1°. On pense que la dernière supposition n'est pas exacte, et que la Seine fait beaucoup moins de contours dans la partie supérieure, qu'elle n'en fait de Paris à Quillebœuf, et qu'il y a de même dans ses affluens des portions fort étendues que l'on pourroit indiquer, qui ont un cours assez direct, d'où il suit que des plans exacts du cours supérieur de cette rivière, donneroient en résultat une moindre élévation.

Nota. 2°. M. Dubuat observe que M. Picart, par ses nivellemens, a estimé que la pente de la Seine étoit égale à $\frac{1}{6000}$, et il en conclut que la hauteur de la Seine, à Paris, est d'environ 150 pieds au-dessus de son embouchure à Quillebœuf; mais ses conclusions paroissent fondées sur plusieurs hypothèses très-incertaines : car si la Seine prise au-dessus de Paris est considérée, par exemple, sur une étendue de 7 à 8000 toises, avec une pente de $\frac{1}{6000}$, comme M. Picart l'a établi, il est manifeste que cette

pente iroit en diminuant en descendant le cours de la Seine et qu'elle augmenteroit dans une plus forte proportion, en remontant vers la source de cette rivière; mais au reste, on croit que la pente de la Seine, près Paris, n'excède pas $\frac{1}{7200}$, au lieu d'un six millième. Quoi qu'il en soit, on croit nécessaire de faire l'examen des bases dont l'auteur a fait précédemment usage pour calculer le produit des eaux de la rivière de Seine pendant une année, parce qu'on a considéré sous un autre point de vue les causes qui alimentent les rivières.

Nota. 3°. On n'ignore pas que d'après Mariote, et depuis lui, plusieurs membres ont adopté l'usage, pour calculer les quantités d'eau que fournissent les rivières, de prendre la superficie de tous les terreins environnans, qui versent leurs eaux vers la principale, dont on cherche la dépense annuelle, ainsi que la superficie des terreins qui bordent les affluens de ladite rivière, et on a supposé que tous les terreins environnans, fournissent à la dépense de ces rivières ou ruisseaux, en proportion de ce qu'ils reçoivent d'eaux pluviales pendant une année; mais on est convaincu que cette méthode n'est point exacte, parce que non-seulement les terreins montagneux qui

avoisinent les sources des grandes rivières, reçoivent une plus grande quantité d'eau de l'atmosphère que la plaine, mais leurs versans étant plus rapides, il y a des circonstances où la plus forte partie des pluies arrive promptement au fond des gorges, et grossissent les rivières dès leur origine : tandis que dans la plaine il n'y a souvent pas la dixième partie d'une pluie orageuse qui parvienne à aucun des affluens de la rivière principale.

Il ne faut pas juger de la campagne par les villes, où toute la superficie, consistant en toits de maison ou en pavé, conserve les eaux de pluie, et les porte sur leur point d'écoulement; au contraire, dans les champs labourés, dans les prairies ou dans les jachères, l'imbibition est considérable, et elle varie suivant la nature du sol.

Dans les plaines de la Beausse, de la Brie, de la Champagne ou de la Belgique, la plupart des pluies d'été sont absorbées à la superficie du terrein, et ne fournissent presque rien à l'écoulement permanent des ruisseaux; aussi dans plusieurs cantons du pays Chartrain, les ruisseaux et sources sont tellement rares, qu'on est souvent obligé de pratiquer des citernes ou réservoirs à ciel ouvert, pour abreuver les hommes et les bestiaux. Souvent même dans

ces plaines, une pluie d'été de plusieurs heures est repompée par le soleil, et l'on remarque en fouillant, qu'elle n'a pénétré que de quelques pouces dans le sol : elle y a seulement produit une humidité foiblement utile à la végétation, et les feuilles des arbres et arbustes en reçoivent autant que les racines : une plus forte pluie pénètre, il est vrai, plus avant, mais d'abord les molécules visqueuses de l'eau, quoique liées entre elles par une force d'agrégation, parviennent à s'insinuer entre les particules terreuses qui opposent plus ou moins d'obstacles à leur perméabilité, et retardent la tendance qu'ont les parties aqueuses, pour descendre plus bas. J'ai souvent fait faire des fouilles par des laboureurs, après des pluies assez fortes, et j'étois étonné du peu de profondeur à laquelle les eaux étoient descendues. Je remarquois que suivant la nature du sol, elles avoient pénétré plus ou moins bas. Mais que deviennent les eaux de ces parties à moitié détrempées ? Avec le temps, une partie de ce qui n'est point employé à la végétation, remonte peu à peu en vapeurs, et se répand dans l'atmosphère; le surplus entretient pour quelques temps une humidité qui forme la fraîcheur de la terre; cependant en certains cas, de nouvelles pluies forcent la masse d'eau souterreine à descendre

en plus grande partie, en pénétrant à travers un terrein perméable, jusqu'à la rencontre d'un lit argilleux, où les eaux resteroient stagnantes, s'il ne s'offroit des issues au pied des collines voisines, qui font paroître des filets sourceux, ou des fontaines dont les écoulemens constans donnent naissance à des ruisseaux très-foibles dans leur origine, mais qui se fortifient ensuite dans leur cours.

Mais on croit ici très-essentiel de s'occuper à considérer particulièrement l'effet des pluies dans les pays des montagnes : nous commencerons par observer, 1°. qu'il y a des montagnes de différens ordres. La France qui est bornée par les Alpes et les Pyrénées a encore une autre chaîne de montagnes qui la traverse entre ces deux limites. Or, c'est de cette dernière chaîne qu'on voit sortir au midi, les sources de la Saône, et au nord celles de la Seine, la Loire, la Vienne, la Charente, la Dordogne et la Gironde ; tandis que la chaîne des Vosges qui se rattache à la Suisse, donne naissance, au nord, à la Sarre, à la Moselle, à la Meuse, à la Marne, et le Rhône et le Rhin sortent des Alpes.

Les sommets de ces diverses montagnes sont plus ou moins élevés ; presque toutes sont formées de roches graniteuses, surtout les plus

élevées. Or, les différentes secousses générales ou partielles que le globe a éprouvées à des époques plus ou moins anciennes, ne permettent pas de douter que ces énormes masses de roche n'aient souffert des ébranlemens, des déplacemens de quelques portions, et même des ruptures, de sorte que des bancs qui étoient autrefois horizontaux dans leur assiette originelle, sont plus ou moins inclinés, et quelques-uns sont devenus verticaux; mais ces événemens n'ont pu arriver sans qu'il se soit formé intérieurement des espaces vides, et des cavernes spacieuses, sans issues apparentes.

2°. En visitant ces diverses montagnes, on remarque des sommets qui sont habituellement couverts de neige et de glace, dont une partie située au nord, à l'abri des regards du soleil, ne fond jamais, et dans d'autres elle fond en partie ou en totalité, suivant leur exposition.

Indépendamment de ces sommets que la nature tient dans l'engourdissement, il s'en trouve d'autres moins élevés, où comme on l'a dit, les neiges disparoissent tous les étés, où l'on rencontre des plateaux assez étendus, peu inclinés à l'horizon, où l'on trouve de la verdure et de gras pâturages entourés par de petites sources très-fréquentes. Mais lorsque la grande partie de ces masses de neige vient à

fondre successivement par des changemens de température favorables, une portion des eaux qui en proviennent, pénètre alors dans le sein des montagnes, par des crevasses, et par les fentes verticales des rochers, et ces eaux parviennent ainsi à remplir les nombreuses cavités qui s'y trouvent. Or, ce sont ces réservoirs intérieurs qui alimentent ensuite toute l'année, sans interruption, les sources principales des rivières. D'ailleurs ces montagnes se divisent en plusieurs branches un peu inférieures, et au pied de chacune, et même de leurs flancs, on voit sortir de nombreuses sources qui fertilisent des prairies rampantes, ensuite la réunion de ces divers filets d'eau, commence à peu de distance de la première source, à former un corps de rivière, dont l'écoulement est toujours maintenu dans le temps des plus grandes sécheresses. Enfin, le même effet arrive pour tous les affluens à la rivière principale. Or, c'est la somme de toutes les sources qui forme l'état des rivières en été, dans le moment des plus basses eaux, nommé *létiage*. Ce n'est pas que dans la saison des sécheresses, il ne survienne de temps à autre quelques pluies accidentelles, tantôt dans un canton, tantôt dans un autre; mais comme le disent alors les habitans des champs, la terre

a tellement soif, que le produit de ces pluies rares est bientôt absorbé par elle, de sorte qu'il n'en paroît rien résulter au profit des rivières.

Il en est de même des pluies d'orages ; quelque considérables qu'elles soient, elles n'englobent qu'une petite superficie de terrein ; si elles tombent sur un pays de plaine, elles peuvent faire grossir quelques ruisseaux voisins, mais l'expérience prouve qu'elles ne produisent aucune augmentation sensible dans les grandes rivières, elles servent seulement à remplacer les évaporations et les filtrations journalières; mais lorsque de forts orages tombent sur quelques parties de la montagne, la rapidité des versans précipite promptement leurs eaux abondantes vers le fond des gorges ou ravins, ou faute d'un temps suffisant pour s'écouler, elles montent à une hauteur inouie et détruisent tous les établissemens qu'elles rencontrent sur leur passage dans ces gorges. Mais si deux heures d'un de ces violens orages suffisent pour produire ces désastres, deux heures après tout est écoulé, et le ravin, ou la gorge, restent à sec; et comme ces orages n'ont régné que sur une petite portion de la montagne, il n'en résulte que des maux locaux, les ruisseaux voisins reçoivent quelques

accroissemens, mais ce débordement partiel fait très-peu d'effet sur le tronc principal des grandes rivières.

Il n'en est pas de même des pluies générales qui embrassent une grande étendue de terreins, et qui couvrent tous les versans de la montagne, depuis la source des rivières, jusqu'à une très-grande distance de ces sources, et qui durent, sans discontinuation, 36, 48, ou 60 heures, plus ou moins. Ce sont essentiellement les pluies longues et générales, qui font grossir les rivières et produisent des débordemens qui sont proportionnés à la durée desdites pluies (1)

On a eu l'occasion d'expliquer ces effets dans un ouvrage sur les rivières et torrens qui a été publié en l'an 12, et de confirmer par des faits l'explication de ces phénomènes.

J'ai observé que les masses d'eau énormes, produites par ces abondantes pluies, promptement accumulées dans les gorges des montagnes, marchoient progressivement vers l'em-

(1) Si pendant les grandes pluies, il survenoit des intermittences, alors une partie des eaux au lieu de s'accumuler au fond des gorges, prendroit de l'écoulement, et la crue seroit moins forte.

bouchure des rivières et mettoient 8, 10 ou 12 jours à parcourir leur lit, suivant leur plus ou moins d'étendue. Le même effet arrive aux rivières affluentes, ainsi qu'à la rivière principale; la masse d'eau qui doit former débordement dans les affluens, provient également des montagnes secondaires qui avoisinent leurs sources, et lorsque cette source est sensiblement moins distante de son affluent que la source du tronc principal, alors la crue de l'affluent arrive la première à son embouchure.

Que ceux qui parcourent dans les temps de débordement les routes voisines des rivières, consultent les habitans des villes et villages qui bordent les grandes rivières; qu'ils les interrogent sur le moment où une crue a commencé et celui où après être montée au plus haut elle a commencé à décroître, ils s'assureront que les crues marchent avec plus de vitesse vers l'origine des rivières, et que leur vitesse se rallentit successivement en descendant. Ils reconnoîtront que, vers le milieu de leur cours, un homme à cheval va plus vite que les débordemens, et que par cette raison les marchands des pays hauts, en écrivant par la poste à des marchands de bois éloignés de 60 à 70 lieues, leur procurent un temps suffisant pour défendre sur les ports leurs chantiers de bois ou autres

marchandises contre les débordemens qui les menacent.

C'est d'après une suite de pareilles observations que les bateliers de la Loire prédisent les crues prochaines lorsqu'il a régné vers la montagne des pluies abondantes pendant un certain temps sans discontinuation, c'est d'après la durée plus ou moins grande de ces pluies, avec les vents constans qui y portent les nuages, qu'ils apprécient l'importance de la crue annoncée. Ces observations sont très-essentielles pour eux, parce qu'une crue moyenne leur est avantageuse pour établir une pleine navigation, tandis qu'un trop grand débordement leur est nuisible et les force à chercher des retraites le long des rivages pour mettre leurs bateaux en sûreté; enfin s'il reste des personnes qui ne soient pas parfaitement convaincues de ces phénomènes, je les engage à observer les rivières avant et après la durée des grandes pluies qui ont continué plusieurs jours et plusieurs nuits, et qui doivent occasionner des débordemens. S'ils sont placés vers le centre de ces rivières, qu'ils les observent surtout au moment où la pluie a cessé; ils remarqueront que, malgré les grandes pluies qui ont régné, la rivière principale n'a reçu qu'un très-foible accroissement de la part

des terreins environnans; mais que c'est au bout de plusieurs jours qu'elle s'élève d'abord par l'effet du débordement des affluens les plus prochains, et successivement ils verront la rivière grossir chaque jour et ne parvenir au plus haut point qu'au bout de 6, 8 ou 10 jours, suivant le lieu de l'observation et la nature du débordement.

Si, au contraire, pendant la durée des pluies, tous les terreins de la plaine sur lesquels elles tombent contribuoient également à l'accroissement des rivières en proportion de leur superficie, les débordemens devroient commencer en même temps dans toute l'étendue de leur cours, elles se trouveroient montées au point le plus élevé à la fin des pluies, et il ne faudroit plus que le temps nécessaire pour opérer l'écoulement ou l'entière évacuation des parties supérieures. Mais il n'en est point ainsi; on voit assez souvent, plusieurs jours après la cessation des pluies, des crues considérables qui continuent à s'élever, parce qu'il leur a fallu du temps pour arriver.

Il résulte de toutes les explications précédentes, que c'est de la montagne que sortent les principales sources des rivières, et que c'est encore dans la montagne qu'il faut chercher

les causes des débordemens (1); que la plaine fournit et entretient de foibles ruisseaux qui suppléent aux évaporations et aux infiltrations des grandes rivières, mais ne produisent pas leurs principaux accroissemens; que les trois quarts des eaux que les pluies répandent dans la montagne sont précipitées dans les vallons, à cause de la rapidité des versans qui ont 30, 40 ou 60 degrés d'inclinaison avec l'horizon, tandis que la plaine ne fournit pas un cinquième aux rivières qu'elles bordent; qu'il est cependant vrai qu'outre les montagnes primaires et secondaires il se rencontre encore en descendant des terreins assez élevés, dont l'inclinaison est depuis 5 jusqu'à 15 degrés à l'horizon, qui absorbent moins d'eau que la plaine et qui peuvent fournir aux ruisseaux voisins le tiers ou le quart de ce qu'ils reçoivent; en somme on concluera de tout ce qui vient d'être dit qu'il n'est nullement exact pour avoir la dépense en eaux que font les grandes rivières dans un point quelconque, de prendre pour base la superficie de tous les terreins qui

(1) On n'a point fait mention des crues produites par la fonte extraordinaire des neiges, à la suite des pluies chaudes de juin et juillet.

avoisinent leur cours principal et celui de leurs affluens, ainsi que la hauteur des pluies annuelles que reçoivent ces terreins, et d'établir ensuite des calculs dont les produits seroient en proportion de ces superficies, vu que parmi ces terreins il se trouve beaucoup plus de plaines que de montagnes, et que la dépense effective ne suit pas la proportion desdites superficies. On en concluera encore que la largeur des lits de rivières ne doit point être réglée dans la proportion de ces dépenses inexactement calculées, mais en proportion du produit effectif du tronc principal et de la force des affluens situés dans la partie supérieure, ce qui doit absolument infirmer les applications des problèmesdes articles 110, 11 2 et 116.

N°. 117. On établit, d'après M. Picart, que la vitesse de la Seine est de 25 pouces par seconde; mais en supposant que cette vitesse ait été constatée par des opérations répétées, on pense qu'il eût été convenable de désigner quel étoit l'état de la Seine au moment de ces expériences, savoir si elle étoit à la hauteur du plus bas étiage, ou de combien de mètres au-dessus, ou enfin quel étoit alors son niveau.

L'auteur annonce ensuite que la profondeur réduite de la Seine est de 3 pieds 10 pouces 3 lignes; on croit encore qu'il eût fallu noter

cette profondeur, relativement au niveau de l'étiage.

Dans la même page, à la suite, on lit, que » la jonction des eaux de la Marne à celles de » la Seine, occasionne au lit de la Seine, une » augmentation de largeur de 200 pieds, sur » 263 pieds, 4 pouces de largeur, tandis que » la profondeur du courant baisse d'environ » 3 lignes.

Nota. On ne conteste pas que la largeur du lit de la Seine, au-dessous de Charenton, ne doit être à peu près de 463 pieds; mais on ne croit pas que l'augmentation que cette rivière reçoit de la Marne, soit dans la proportion de 200 à 463, ni qu'après cette réunion, la profondeur d'eau de la Seine soit diminuée de 3 lignes de hauteur, de ce qu'elle étoit avant cette réunion.

PROBLÈME.

118. (P. 164.) On lit : « connoissant la largeur, » la profondeur, et la vitesse du régime d'une » rivière, dont le lit, creusé dans un sol ho- » mogène, reçoit ensuite une ou plusieurs ac- » crues, dont on connoît la dépense totale; » déterminer les dimensions et la pente du » nouveau lit, qui écoule toutes les accrues, » ou crues. »

Suit la Solution:

Nota. Cette solution suppose des données dont plusieurs paroissent incertaines ou très-difficiles à obtenir. 1°. Elle suppose un lit creusé dans un sol homogène, ce qui est fort difficile à rencontrer. 2°. Elle suppose que, d'après la méthode indiquée par l'auteur, on peut se procurer avec exactitude, pour différens points désignés, la dépense de ladite rivière; mais on a ci-dessus fait apercevoir que cette méthode, quoique souvent employée, paroissoit manifestement fautive. 3°. On suppose que l'on connoît le produit d'une crue quelconque. 4°. L'auteur suppose les lits de rivière exactement déterminés d'après sa théorie des bricoles, théorie qui n'a pas paru fondée sur des principes physiques incontestables: néanmoins après avoir désigné par des lettres toutes les données précédentes, il a déterminé par le calcul de nouvelles formules pour cet objet; mais on ne pense pas qu'elles puissent être d'aucune utilité dans la pratique.

On ne peut cependant se refuser à dire que plusieurs des considérations hypothétiques de l'auteur sont ingénieuses et offrent des combinaisons savamment résolues.

Quoi qu'il en soit, on a cru devoir transcrire le tableau ci-après du n°. 121.

TABLE.

INDICATION des longueurs de chaque partie de Rivière, exprimée par mille toises.	Longueur du cours direct exprimé en mille.	Section moyenne du lit exprimé en pieds carrés.	Profondeur moyenne du lit calculée et exprimée en pieds.	Largeur du lit supposée rectangulaire exprimée en pieds.	Largeur du lit en forme de trapèze exprimée en pieds.	Nombre de bricoles sur chaque partie du cours.
Nota. On suppose la vitesse de regime constante et égale à 25 pouces par seconde sur toute la longueur du cours.						
Depuis la source de la Seine, jusqu'au confluent de l'Ourse.	mille. 38,4	45,894	2,67	17,1	20,66	4008
Depuis le confluent de l'Ourse, jusqu'à celui de l'Aube	39,0	179,36	3,38	53,2	57,71	1458
Depuis le confluent de l'Aube, jusqu'à celui de l'Yonne.	27,5	511,7	3,75	136,4	141,4	419
Depuis le confluent de l'Yonne, jusqu'à celui de la Marne.	33,0	1489,0	3,80	391,8	396,8	179
Depuis le confluent de la Marne, jusqu'à celui de l'Oise	16,6	2576,64	3,83	671,8	676,9	58
Depuis le confluent de l'Oise, jusqu'à celui de l'Yrton	37,5	3632,0	3,836	946,8	951,9	84
Depuis le confluent de l'Yrton, jusqu'à Quillebœuf.	28,0	4115,5	3,387	1072,5	1077,6	56

Nota. 1°. Cette table paroît avoir été construite plutôt d'après les formules qui ont résulté des données précédentes, que l'auteur a considérées comme incontestables, que d'après des observations locales.

Quoi qu'il en soit, on pense que cette table peut donner lieu aux observations suivantes:

Nota. 2°. On n'ignore pas que la portion du cours de la Seine, située entre Paris et Rouen, est une des plus sinueuses de cette rivière, et qui devroit conséquemment occasionner plus de bricoles et un plus grand nombre de réflexions; cependant, on voit par la susdite table, que les trois dernières parties exprimées en mille, sont celles qui présentent le moins de bricoles. 2°. On doit être étonné de ce que dans les deux premières parties qui avoisinent la source, la profondeur moyenne y est annoncée de 3 pieds, tandis que dans les deux dernières, elle n'excède pas 3,857 pieds, parce que l'observation semble évidemment prouver, qu'en comparant les deux premières parties aux deux dernières, la différence de profondeur, d'après le fait, doit être sensiblement plus considérable vers l'embouchure de ce fleuve. 3°. La table indique qu'au-dessous du confluent de la Marne, la largeur du lit de la Seine, d'après les dépenses calculées, doit

être de 671 pieds, quoique la section du vide du pont des Tuileries ne soit en réalité que de 538 pieds, et que l'expérience de plus d'un siècle ait prouvé que le débouché a suffi aux plus grands débordemens connus, et que conséquemment, la largeur de 671 est de beaucoup trop grande.

122. (Page 174.) On lit : « la propriété qu'a » une rivière de former des îles, est une marque » de la grandeur de sa pente, et vient princi- » palement du manque d'exactitude dans le » tracé des sinuosités. Si les rayons des arcs » de ses coudes sont trop grands, ou trop » petits, le fil de l'eau ne sera pas réfléchi de » bricoles en bricoles..... Le lit aura de la dis- » position à faire des fouilles et des dépôts, etc. »

Nota. Il m'a semblé que les faits étoient contraires aux propositions précédentes, et l'on peut citer en preuve qu'il se trouve, dans la partie basse de la Loire, un très-grand nombre d'îles entre Saumur et le pont de Cé, qui partagent son lit en plusieurs bras; qu'en remontant de Saumur à Tours, on trouve moins d'îles dans le cours de cette rivière; et que de Tours à Orléans, et d'Orléans à Briare, elles sont encore plus rares, quoique le cours soit droit et la pente plus forte. Je ne parle pas des bancs de sable, mais des îles permanentes.

De même dans la Seine, les îles paroissent plus fréquentes dans la partie basse de Paris à l'Yrton, que de Paris au confluent de l'Yonne, quoique la pente soit plus forte dans cette dernière partie. On pourroit encore citer plusieurs autres rivières dans le même cas; mais cela paroît suffisant pour se convaincre que ce n'est pas l'excès de pente qui forme les îles dans le lit des rivières, et que cette formation paroît même indépendante des prétendues bricoles qui seroient effectuées d'après les bases régulières susdites.

Nota. 2°. Quelqu'un qui a lu les observations précédentes, m'a demandé de donner une autre explication sur la formation des îles; mais une explication physique et géologique de ce phénomène fréquent n'est pas sans difficultés, et me paroît exiger de trop longs discours pour pouvoir être placée ici. Je ferai en sorte, par la suite, de remplir cette tâche.

PROBLÈME.

123. (Page 176). On lit : « connoissant la » pente, la profondeur, la largeur de la base » d'un lit rectangulaire ou trapèze, et par » conséquent la dépense d'une rivière; déter- » miner de combien sa section doit s'élever,

» si la dépense vient à augmenter d'une quan-
» tité connue ».

Suit la solution.

Nota. Il s'agit sans doute dans ce problème d'une portion de rivière entre deux confluens, dont on peut connoître la pente générale par un nivellement, la profondeur réduite par l'expérience, c'est-à-dire par des sondes, la largeur moyenne d'après des plans exacts, et même la vitesse moyenne d'après des expériences faites en plusieurs parties de son cours.

Si maintenant on est parvenu à savoir la quantité d'eau que peut produire une nouvelle crue, on ne doute pas qu'il ne soit alors facile de déterminer à quelle hauteur cette crue doit s'élever. Cependant on répétera encore qu'en supposant, 1°. que le nivellement d'une longueur de rivière fixée entre deux confluens donne, par exemple, une pente de 20 mètres, le fond du lit n'est jamais dressé d'une seule pente sur cette longueur; il se divise en un grand nombre de pentes très-inégales, dont la somme néanmoins produit 20 mètres; mais ces pentes diverses et d'autres accidens qui obstruent les lits occasionnent des vitesses partielles inégales.

2°. On a déjà dit que la dépense annuelle

étoit très-difficile à connoître pour chaque point du cours d'une rivière, et on ajoutera que le produit d'une crue particulière paroît toujours trop incertain pour en pouvoir faire la base du calcul d'un problème.

Au surplus l'auteur, après avoir désigné ses données par des lettres et mis en œuvre ses formules précédentes, arrive à une équation du 3e. degré, qu'il simplifie ensuite par une expression approximative et qu'il convertit en grandeurs exprimées arithmétiquement d'après diverses suppositions.

CHAPITRE II.

Des redressemens des rivières et des changemens que l'on peut faire à leur cours ou à leur lit.

127. (Page 180.) *Nota.* L'auteur, dans ce numéro, parle des désastres occasionnés par les débordemens. On croit à ce sujet devoir observer que les débordemens des grandes rivières sont beaucoup plus à craindre que ceux des petites; qu'il y a même des débordemens annuels qui, en couvrant les prairies qui les bordent, y laissent des dépôts gras et vaseux qui augmentent leur fertilité, tandis que ceux qui charrient des graviers leur sont préjudi-

ciables et que d'autres nuisent aux établissemens voisins ; mais il doit être ici question d'opérer des redressemens dans les cas où ils peuvent être utiles.

PROBLÈME.

128. (Page 182.). On lit : « la largeur, la » profondeur et la pente d'une rivière étant » données, quand elle coule à plein bord » dans les temps des grandes crues dans un » lit sinueux dont on connoît les sinuosités ; » déterminer combien ses eaux baisseroient, si » on redressoit son cours d'une quantité con- » nue, en coupant quelques-unes des sinuo- » sités les plus nuisibles.

» Pour résoudre ce problème il faut suppo- » ser, 1°. qu'on aura mesuré la vitesse moyenne » du courant, qui, dans ce cas, ne peut pas » se calculer exactement par la formule, à » cause de la résistance des coudes qui aug- » mentent la pente due à la vitesse ; 2°. que, » par un nivellement très-exact, on se sera » assuré de la différence de niveau de la sur- » face de la rivière sur une longueur suffi- » sante ; 3°. qu'on connoîtra le nombre et » l'espèce de toutes les bricoles qui se forment » sur cette longueur ».

Nota. On ne doute pas qu'en admettant

toutes ces données, ainsi que les calculs sur lesquels plusieurs sont fondées, on ne parvienne à un résultat qui sera la conséquence de ce qui précède.

Quoi qu'il en soit, il est manifeste, 1°. qu'on pourroit prendre la vitesse de ce cours dans un grand nombre de points et en composer une vitesse moyenne; 2°. qu'on peut, par un nivellement général, connoître la pente totale, et par des nivellemens particuliers et des sondes s'assurer des différentes pentes. 3°. A l'égard du calcul à établir sur le nombre et l'espèce de bricoles qui se forment sur cette longueur, on jugera, d'après nos observations précédentes, que nous pensons que cette circonstance est difficile à déterminer, et par cette raison on se dispensera de rien ajouter au sujet du résultat trouvé d'après les susdites données.

129. (Page 184.). *Nota.* En supposant que les calculs ci-dessus énoncés soient établis et applicables à une portion de rivière d'une certaine étendue, l'auteur paroît avoir néanmoins senti les inconvéniens de faire des redressemens partiels sur quelque partie de rivière sans toucher au reste de son lit, auquel il resteroit des sinuosités, et cela a paru juste et prudent. On auroit pu confirmer son opinion

par plusieurs applications à des cas particuliers.

N°s. 130, 131 et 132. *Nota.* L'auteur, dans ces numéros, conseille d'exécuter le redressement des rivières successivement et par partie, par la crainte que les eaux ne sortent de leur lit ordinaire et ne s'extravasent lors des débordemens, et dans le cas où ces redressemens, en facilitant l'évacuation, ne laisseroient plus assez de profondeur pour une navigation en activité, l'auteur propose des barrages formant retenue, avec des portières que l'on tiendroit ouvertes lors des crues pour faciliter l'écoulement des grandes eaux.

Tous ces moyens sont connus et pratiqués dans un grand nombre de rivières; mais trop souvent ils sont insuffisans et n'empêchent pas les rivières de déborder. En effet, on voit beaucoup de rivières sortir tous les ans de leur lit et couvrir les terreins qui les bordent, parce que leur lit ordinaire n'a communément pas assez d'étendue pour contenir même le quart des eaux lors des débordemens; car il y a beaucoup d'inégalités à cet égard dans les diverses rivières; il s'en trouve dont les accroissemens possibles sont tels, que le rapport de la masse d'eau lors du grand débordement est, à leur masse fluide au temps des basses eaux, comme

10 à 1, et dans d'autres il n'est que de 4 à 1. Il y en a dont les lits sont très-encaissés avec des berges tellement hautes, que, dans les plus grands débordemens, la largeur du lit ne peut acquérir une largeur double de ce qu'elle étoit au temps des plus basses eaux, tandis qu'on voit le plus grand nombre des rivières, dans la première moitié de leur cours, circuler dans des vallons sur des plateaux formant de vastes prairies, que dix fois l'an toutes les crues surmontent, en occupant un espace quinze à vingt fois plus grand que le lit ordinaire de ces rivières. Or, suivant la force des crues, les eaux recouvrent ces prairies sur plus ou moins de hauteur.

On sent bien que nous ne parlons point ici des rivières qui sont renfermées entre des digues qui les contiennent et les empêchent de s'étendre.

Au surplus, il est constant que pour l'avantage de la navigation, il faut entretenir la profondeur nécessaire au tirant d'eau, des bateaux qui fréquentent les rivières, et comme il est évident qu'en augmentant la pente de quelques portions, par des redressemens, on augmente la vitesse, ce qui accélère l'évacuation, on diminue par ce moyen la profondeur; de sorte qu'il peut en résulter qu'après

les redressemens, il ne resteroit plus assez d'eau pour la navigation. On peut y remédier, il est vrai, comme le dit l'auteur, par des retenues et des écluses, mais il s'en suit qu'on seroit forcé d'employer des moyens dispendieux pour rétablir une navigation qui s'opéroit sans ce secours, avant les redressemens. C'est pourquoi nous croyons en devoir conclure qu'il faut être très-circonspect; et bien méditer avant leur exécution, les redressemens que l'on projette, parce qu'il n'y a peut-être de généralement nécessaire dans les anciens lits sinueux, que les coupures ou adoucissemens des angles trop aigus, qui nuisent à la circulation des bateaux, relativement à leur longueur. Pour les autres cas, il paroît convenable de s'assurer de combien la profondeur d'eau existante, surpasse celle nécessaire au tirant des bateaux, pour concilier la hauteur d'eau disponible, avec les changemens projetés.

PROBLÈME.

133. (Page 188.) On lit: « la largeur, la » profondeur, la vitesse, et la pente d'une ri- » vière étant donnée, avec le nombre, et la » nature de ses sinuosités; déterminer la pente » qu'il faudroit lui donner, et par conséquent » les redressemens à faire, pour que sa hau-

» teur baissât, et fût égale à une donnée, en
» conservant la largeur ordinaire du lit.

» Puisqu'on suppose connues, la section et
» la vitesse d'une rivière, dans le temps de
» ses plus grandes crues, on connoîtra la dé-
» pense. D'un autre côté, on a fixé une hau-
» teur de section, moindre que la première,
» où l'on veut que les eaux puissent arriver
» sans la passer, et la largeur reste constante;
» ainsi, la nouvelle section est aussi connue;
» on divisera la dépense par cette nouvelle
» section, et l'on aura la vitesse moyenne uni-
» forme de la rivière; la seule inconnue est
» donc la pente due à cette vitesse moyenne;
» mais comme on a (62) l'équation du mou-
» vement uniforme; on trouvera aisément la
» valeur de b, et par conséquent celle de $\frac{1}{b}$ »

Nota. Mais cela ne suffit pas, dit l'auteur, quoiqu'on connoisse la pente totale de la rivière, avec le redressement projeté, qu'on peut exprimer par $\frac{1}{B}$ et que la pente du lit direct, destinée à vaincre la résistance, puisse l'être par $\frac{1}{b}$, néanmoins, les longueurs développées du lit dans les deux cas, ne sont pas entre elles, comme b est à B, parce que le lit redressé en partie, doit conserver un certain nombre de coudes, dont il faut vaincre

la résistance; ainsi $\frac{1}{b}$ étant trop petit, il faut y ajouter une quantité, m, qui exprime cette résistance, et la pente deviendra $\frac{1+m}{b}$

Mais cette portion de résistance de la part des bricoles, est fort difficile à assigner, parce que d'ailleurs, ce ne sont pas seulement les coudes qui font résistance dans les rivières, mais les inégalités de largeur de lit, les îles, les roches et les bancs de sable, les irrégularités du fond du lit, qui rompent sans cesse l'uniformité de pente et de vitesse, sans qu'on puisse distinguer jusqu'à quel point chacune de ces causes y contribuent : c'est pourquoi il n'est pas moins difficile après avoir déduit l'effet des susdites causes; s'il est possible d'en avoir l'expression en masse, et de déterminer la portion de résistance qui provient du frottement d'un lit rectangulaire, de l'inflexion des coudes, ou des autres obstacles et irrégularités accidentelles.

PROBLÈME.

135. (Page 190.) On lit : « une rivière, » dont le régime n'est pas établi, ou dont la » vitesse, dans le temps des crues, est trop » grande, étant donnée avec sa pente, sa sec- » tion, sa vitesse et ses coudes ; déterminer

» de combien il faudroit augmenter le déve-
» loppement de son cours, pour que sa vi-
» tesse devînt convenable au régime. »

Nota. 1°. Pour la résolution de ce problème, l'auteur en fait l'application à une rivière qu'il suppose avoir 50 pieds de largeur, sur 8 de profondeur, dans le temps de ses plus grandes crues, avec une pente de $\frac{1}{8000}$ et des sinuosités telles qu'elles augmentent cette pente de $\frac{1}{25}$ et la réduisent à $\frac{1}{7680}$; on suppose encore que pour 40,000 toises de cours direct, le lit a 60,000 toises de longueur développée, avec une vitesse de 26,948 pouces par seconde. On demande de réduire cette vitesse à 24 pouces, en conservant au lit sa même largeur, et en allongeant sa longue développée, répondant à 40,000 toises.

Suit la Solution.

Nota. 2°. Dans le problème, il n'y a plus d'incertitude sur l'effet des coudes, puisqu'en l'évaluant à $\frac{1}{25}$, on en fait une des données; il s'agit donc de déterminer un nouveau cours, qui doit avoir un grand nombre de coudes, et dont la direction sera plus allongée. Or, le résultat de la solution, d'après l'emploi des susdites formules, est qu'il faut donner à la

développée du nouveau cours, une longueur de 92,836 toises, au lieu de 60,000, et qu'il faudroit approfondir et régler le fond de ce lit, sur la pente déterminée, et creuser environ 33,000 toises de nouveau lit.

On ne peut révoquer en doute l'exactitude des calculs de l'auteur, que même il n'y ait du génie, dans la conception et la résolution de ce problême; mais je ne crois pas qu'il puisse se rencontrer dans la vie une circonstance qui permette de faire l'application de cette dispendieuse opération.

PROBLÈME.

136. (Page 193.) « On lit : connoissant la » largeur, la profondeur dans l'état moyen » des eaux, la pente, la vitesse et les coudes » d'une rivière dont la vitesse est trop grande » dans le temps des crues; déterminer de combien il faudroit augmenter le développement » de son cours, pour que sa profondeur devînt » égale à une donnée convenable à la navigation ou au flottage. Prenons encore pour » exemple la même rivière que ci-dessus, » dont la largeur, dans l'état ordinaire de ses » moyennes eaux, se trouveroit réduite à 40 » pieds, et la profondeur moyenne à deux » pieds, qui ne suffiroient pas pour la rendre

» navigable ou flottable avec commodité. On » propose donc de déterminer, dans le cas où » on voudroit allonger son cours, pour obliger » sa section à s'élever jusqu'à 3 pieds de hau- » teur moyenne, la mesure de cet allonge- » ment. »

Nota. On suppose comme ci-devant pour cette solution, le cours direct de 40,000 toises, le cours actuel de la rivière développé de 60,000 toises, à cause des sinuosités, la pente totale comme dessus, de $\frac{1}{7680}$, ce qui fait 46,875 pieds de différence de niveau, duquel on en suppose 46,346 pieds employés à vaincre la résistance du lit, et seulement 0,529 employés à vaincre celle des coudes, la vitesse n'étant que de 14,858 pouces par seconde.

Suit la solution.

Nota. En faisant usage de la même formule que pour le problême précédent, on trouve par les calculs, que le cours développé, au lieu de 60,000 toises, doit avoir 215,400 toises, c'est-à-dire plus de cinq fois la longueur du cours direct, qui est de 40,000 toises.

Je laisse au lecteur à apprécier l'application de ce résultat

N° 137. *Nota.* On pense, comme le dit l'auteur, qu'il y a une impossibilité morale, à en-

treprendre de rendre une rivière navigable, par un tel moyen.

CHAPITRE III.

De la dépense des réservoirs, des vanages et des tenues d'écluses, de la hauteur et de l'amplitude des remous et des ponts.

141. (Page 198.) Ce numéro explique ce que l'on entend par des réversoirs complets, et des demi-réversoirs; le premier indique un barrage total.

PROBLÈME Ier.

142. (Page 201.) On lit : « si dans une des » faces d'un réservoir entretenu constamment, » plein d'une eau dormante, on pratique un » réservoir d'une largeur et d'une profondeur » données; on demande de déterminer la dé- » pense d'eau qui s'y fera, le réversoir étant » complet.

» Soit un bassin, A B C D, fig. 16, cons- » tamment entretenu plein, dont A B soit la » superficie; si dans une de ses faces B C, on » pratique une ouverture par laquelle l'eau » puisse s'échapper sur une hauteur B F, que » nous nommerons h, et sur une longueur que » nous nommerons l; on suppose que l'eau

» échappée du réservoir soit reçue dans un » autre bassin, ou lit inférieur, dont la surface » soit plus basse que le point F, ou au moins » au niveau de ce point; on demande quelle » seroit la dépense de ce réversoir. »

Nota. Dans le problême précédent, l'auteur suppose 1°. que la hauteur qui produit la vitesse à la sortie du déversoir n'est pas I F, mais B F, qui dans la figure 16 paroît le double de I F, 2°. que l'eau supérieure du biez vient frapper F C, et ensuite se relève de bas en haut; 3°. que pour cette évacuation, il y a contraction de la veine fluide par trois côtés.

Mais comme nous ne sommes pas du même avis sur ces conditions, nous nous réservons d'expliquer ci-après les effets des chutes d'eau, à la sortie des réversoirs, comme nous les avons observés et jugés.

N°. 143. *Nota.* On trouve dans cet article une table de quatre expériences faites très en petit, la hauteur du réversoir n'ayant que depuis un pouce jusqu'à 6 $\frac{1}{3}$ de hauteur et les dépenses depuis 8, jusqu'à 62 litres.

PROBLÈME II°.

144. (Page 204.) On lit: « la dépense et la » section d'une rivière étant connues, si on

» barre son cours par un réversoir, dont la
» hauteur au-dessus du fond de la rivière soit
» connue et dont la largeur soit égale à celle
» de la rivière, déterminer la hauteur à la-
» quelle l'eau de la rivière s'élèvera au-dessus
» du réversoir pour passer par-dessus.

Suit la solution.

Nota. Dans ce dernier problême, on suppose que l'eau avant de reverser, arrive avec une vitesse acquise sur la face antérieure du réversoir, et que l'eau se relevant par l'effet de cette vitesse produit lors de l'écoulement une contraction à la base inférieure de cette veine fluide.

Nous tâcherons d'expliquer pourquoi nous ne croyons pas ces deux effets exacts.

N°. 145. *Nota.* 1°. Ce numéro présente le tableau de quatre expériences pour des hauteurs de réservoirs, depuis environ un pouce jusqu'à six, qui ont été calculées d'après les hypothèses précédentes.

Nota. 2°. Pour faciliter l'intelligence des observations dont les deux problêmes précédens nous ont paru susceptibles, nous avons cru nécessaire de commencer par présenter des explications préliminaires sur divers effets physiques connus.

Dissertation sur les effets de la contraction de la veine fluide à la sortie des réservoirs; on se propose d'examiner et analyser cet effet dans des circonstances différentes.

On a commencé par observer 1°. que l'on peut considérer la masse d'eau contenue dans un vase ou un réservoir, comme formé de plusieurs couches horizontales, infiniment petites et égales entre elles, de sorte que le nombre de ces couches seroit comme les nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc. On a d'ailleurs observé que la somme des couches pesoit sur le fond du réservoir, en raison de sa base par sa hauteur qui exprime le nombre des couches; ayant ensuite considéré ces couches comme composées de globules durs qui se touchoient tous au moins dans un point, il en résultoit que ces globules, vu leur grande mobilité, pressoient et étoient pressés dans tous les sens, et que la réaction étant égale à l'action, ils devoient exercer sur chaque point de la paroi, une pression égale à la hauteur supérieure. Or, c'est cette égalité de pression qui maintient le niveau de la surface d'un liquide en repos; et c'est elle encore qui force un liquide à sortir par un orifice quelconque inférieur à son niveau, avec une vitesse qui est le résultat de la pression des colonnes supérieures. Or on a

expérimenté que la vitesse des eaux, à la sortie des réservoirs, par des orifices beaucoup plus petits que leurs bases, suivoit la même loi que la chute des graves, et qu'elle étoit proportionnelle aux racines carrées des hauteurs, depuis le niveau de l'eau, jusqu'au centre de l'orifice, et que s'écoulant ensuite avec un mouvement uniforme, elle devoit parcourir un espace double dans le même temps que celui de la vitesse acquise. L'expérience a paru à cet égard d'accord avec la théorie, à quelques modifications près, fondées sur des effets physiques particuliers, qui ont été observés pendant ces écoulemens.

On a d'ailleurs remarqué que la veine fluide qui sortoit du fond d'un réservoir entretenu plein, dont l'épaisseur étoit très-mince, par un orifice circulaire de 1, 2, 3 ou 4 pouces de diamètre, éprouvoit une diminution sensible de son diamètre, et que cette réduction de diamètre que l'on nommoit contraction de la veine fluide, diminuoit la dépense effective, parce que pour le calcul de cette dépense, il convenoit multiplier la vitesse acquise par la surface de la veine comprimée; ou bien, après avoir déterminé la dépense sans égard à la contraction, en retrancher ensuite le déchet occasionné par ladite contraction.

Nota. M. l'abbé Bossut qui a fait avec grand soin beaucoup d'expériences dans ce genre, a observé que le diamètre comprimé se trouvoit à la distance d'un demi-diamètre de l'orifice, et que l'aire de l'orifice étoit à celui de la veine contractée, comme 3 à 2.

Maintenant, pour completter l'idée des effets de la contraction, si nous considérons les figures 1 et 2 de la planche première, nous commencerons par remarquer que ce ne sont pas seulement les filets perpendiculaires à l'orifice qui fournissent à la dépense, mais que vu l'égalité de pression sur une même hauteur, les filets latéraux voisins, doivent en cédant au mouvement de pression, tendre également vers l'orifice et se presser de fournir à la dépense. Ce fait est confirmé par plusieurs expériences.

Si on suppose que le vase puisse se vider, on observe lorsqu'il reste peu de hauteur d'eau au-dessus dudit orifice, que les filets verticaux, comme plus rapprochés du vide, agissant plus directement, forment un abaissement sensible à la partie de la superficie qui correspond verticalement à l'orifice et formeroient un trou, si les colonnes latérales ne s'empressoient de combler le vide; mais si les eaux continuent à s'abaisser, on remarque qu'il se forme à la

surface une concavité en forme d'entonnoir.

Ainsi on reconnoîtra, d'après la figure première, que ce ne sont pas seulement les filets verticaux tels que *c g* qui fournissent à la dépense, mais que les filets *a b* et *c d* y concourent. Or, les derniers par leur direction, en pressant obliquement la colonne fluide à sa sortie, s'opposent en partie à l'écoulement, en formant une couronne circulaire inclinée qui la comprime et détermine ainsi le diamètre de la veine contractée, ce qui diminue la dépense effective qui seroit plus considérable sans cet effet.

On confirme encore le même effet, en adaptant à l'orifice un tuyau additionnel d'environ deux diamètres de longueur, alors les colonnes verticales fournissent seules à la dépense, et elles acquièrent dans ce cas, par leur pression et leur direction, une supériorité qui ne peut être troublée par les colonnes latérales. Il en résulte alors, que la contraction n'a point lieu, ou qu'en quelques cas elle n'est que partielle, ce qui est confirmé par l'expérience.

La figure 2 représente un vase E F G H, rempli d'eau et constamment entretenu plein; l'orifice par où se fait l'écoulement est de forme circulaire et placé sur une des parois.

On remarquera que les filets qui corres-

pondent au bas de l'orifice *i*, sont ceux qui ayant le plus de vitesse, tendent à sortir, suivant une direction horizontale, telle que *h i p*; que les filets tels que *a b c*, sont ceux qui par leur obliquité, tendent le plus à comprimer la veine fluide à sa sortie; mais que les filets intermédiaires *d e s* et *f g o*, participent plus ou moins des précédentes directions. Enfin, si on suppose le cercle de l'orifice partagé en deux parties égales par une ligne horizontale qui passeroit par le centre (voyez fig 2 *bis*), on jugera que les filets qui tendent à fournir à la dépense de la partie supérieure du demi-cercle, doivent avoir plus d'obliquité à leur sortie et que les filets du pourtour de la portion du demi-cercle inférieur auront plus de vitesse et moins d'obliquité; de sorte qu'il s'en suivra que la surface de la veine contractée sera dans ce cas, plutôt une éclipse qu'un cercle. Au surplus, dans les expériences qu'on a faites avec des orifices verticaux de 2 à 3 pouces de diamètre, soit que la veine contractée ait été considérée comme de forme circulaire ou éliptique, les résultats n'ont pu en être sensiblement différens.

Maintenant nous allons considérer les orifices rectangulaires pratiqués dans des parois de mince épaisseur.

1°. Lorsqu'un orifice rectangulaire horizontal est placé au fond du vase, il est manifeste que la contraction a pleinement lieu sur les quatre côtés du rectangle, et que la veine contractée doit être dans les mêmes rapports, et produire les mêmes effets que pour un orifice circulaire.

2°. Si nous supposons un orifice rectangulaire vertical, placé au bas d'un réservoir, tel que celui OPQR, fig. 3, on doit remarquer que les filets obliques qui occasionnent la contraction, ne peuvent agir que suivant les trois côtés PO, PQ et QR, et que les filets fournis à la base OR, près le fond du réservoir, ne tendent point à remonter pour rétrécir l'orifice, mais qu'ils cherchent à s'échapper avec une vitesse plus grande que celle des filets supérieurs, en suivant la ligne horizontale, et ensuite s'abaissent en vertu de la pesanteur.

On va encore examiner successivement plusieurs autres cas d'écoulement d'orifice dans lesquels la contraction peut avoir lieu avec des circonstances différentes. Dans les premières hypothèses, nous supposerons le réservoir constamment entretenu plein.

La fig. 4 indique le plan d'un déversoir dont les bords latéraux de son orifice P Q ont de

minces parois et la figure 5 en présente la coupe.

On voit par la coupe, que toute la masse fluide qui est au-dessous de la ligne horizontale M Q, doit rester immobile et que les filets supérieurs tendent à s'échapper en surmontant le niveau du déversoir ou réversoir en vertu de la pression des couches supérieures; que les couches les plus basses qui touchent le seuil du pertuis sortent avec une vitesse due à la hauteur excédente, suivant une direction horizontale et perpendiculaire à la face de ce déversoir, et qu'ensuite en vertu de la pesanteur, les filets se courbent après leur sortie, suivant une ligne parabolique; que d'ailleurs, les couches supérieures, quoiqu'avec une vitesse moindre, sont entraînées par ladite chute en formant une même masse; mais que le bassin ou réservoir pour fournir à la dépense du pertuis, est forcé de s'abaisser en formant dans son dessus une surface convexe, qui diminue la hauteur de l'évacuation sur les bords de l'orifice ou seuil.

Cependant, nous estimons que la dépense doit être considérée comme le produit de la largeur du déversoir par la hauteur $n\,c$, prise à sa sortie, multiplié par une vitesse due à une hauteur de pression mesurée intérieurement à

une distance du point de sortie égale à la hauteur qui est ici indiquée par *h* Q. Indépendamment du déchet qui peut provenir de la contraction des côtés dudit réversoir, tel qu'il est désigné en plan par la fig. 4, où l'on voit que les filets du centre parallèles à *i l c*, sortent par la perpendiculaire sans se détourner, tandis que les filets *a* Q *b c* et ceux *d* R *o f* pressés latéralement tendent en concourant à la dépense à resserrer la veine fluide et former une contraction.

Quoique la contraction n'ait ici lieu que latéralement, cependant lorsque l'ouverture de l'écoulement est petite, c'est-à-dire, si elle n'avoit que le double ou le triple de sa hauteur, la diminution de dépense causée par cette espèce de contraction, seroit de quelque importance, mais si la longueur du déversoir étoit considérable, et avoit par exemple cent fois sa hauteur, alors l'effet de la contraction latérale ne seroit que d'une très-petite considération.

La figure 6 représente le plan d'un autre déversoir ou réversoir, D N G P, d'où l'eau s'évacue entre des bajoyers, D N et P G, supposés de grande épaisseur.

L'on y voit, 1°. que les filets *g h i*, *a b c* et *d c f*, coulent paralèllement entr'eux, et

sortent par une direction perpendiculaire au déversoir, 2°. que les bajoyers D N, et P G, ayant une forte épaisseur, il ne doit point y avoir de contraction latérale, 3°. que les eaux après avoir traversé l'épaisseur des bajoyers de ce déversoir, où elles ont été contenues, s'évasent en s'abaissant, et prennent les directions obliques, N V F, et G T S, et après avoir frappé les murs de revêtement en retour, une partie de ces masses fluides en mouvement s'y décompose, et forme des remous, c'est-à-dire des marches rétrogrades et accompagnées de tournoiemens.

La figure 7 représente la coupe de ce même déversoir.

On y observera, 1°. que la masse fluide, placée au-dessous de R O, doit être sans mouvement; 2°, que l'eau coulante dans une direction horizontale R O *b* N, décrit ensuite en tombant une ligne parabolique, de sorte que le filet R O *b* N, est celui qui a la plus grande vitesse; 3°. que la hauteur V N, est moindre que la hauteur *s b*, parce que les couches supérieures ayant moins de vitesse que les inférieures, l'eau est forcée de s'abaisser dans son dessus, en formant une courbe, pour pouvoir fournir à la dépense des couches inférieures; 4°. que la hauteur V N, sert à me-

surer la dépense, tandis que la vitesse est due à la chute *s b*.

C'est ainsi que nous avons observé les réversoirs entretenus pleins, ou dont les abaissemens sont peu sensibles. Nous ajouterons encore que si la longueur d'un déversoir qui entretient un écoulement, étoit égale à la largueur totale d'une rivière ou d'un canal, d'après nos précédentes observations, il ne doit y avoir aucune espèce de contraction, en quoi nous différons de M. Dubuat, qui en admet par trois côtés, pour la dépense des réversoirs. Néanmoins, nous croyons devoir dire que les six problèmes contenus dans le chapitre III de la 3e. section, malgré les différences, nous ont paru ingénieux et savamment résolus, en admettant les diverses hypothèses de l'auteur, combinées avec les principes de théorie généralement reçus; mais en rendant justice à son travail, et sans nous livrer à des discussions que les circonstances et l'application de ces problèmes pourroient faire naître, nous croyons plus convenable de présenter à cette occasion, d'après notre opinion, un détail historique du régime général des rivières, qui sera appuyé par des faits applicables au plus grand nombre. Nous parlerons, à cette occasion, des différens genres de barrage qu'on est

dans l'usage d'y établir, ainsi que des effets qui en résultent, soit en les considérant à des hauteurs constantes, soit au moment des hautes ou moyennes crues. Notre historique est le résultat d'un grand nombre d'observations, plusieurs fois répétées. Nous avons à regretter de ne les avoir pu toutes confirmer par des expériences particulières, telles que nous les avons conçues, et dont plusieurs sont indiquées dans notre dernier ouvrage sur les rivières et torrens.

Observations historiques sur le cours des rivières, leurs barrages, les chutes par diverses espèces de déversoirs, et les effets qui en ont paru résulter.

Presque toutes les rivières, sur la moitié ou les deux tiers de leur cours, depuis leur source, sont sans cesse coupées ou arrêtées par des barrages de diverse nature, soit pour des irrigations, pour des établissemens d'usines, pour des pêcheries, ou par des pertuis, ou écluses nécessaires à la navigation par bateaux.

Cependant il est incontestable que si on considère une rivière quelconque dans un point désigné, après avoir déduit de sa vitesse acquise, la portion qui a été nécessaire pour vaincre les frottemens du fond du lit et des rives, son cours doit marcher ensuite avec

une vitesse uniforme, qu'elle doit conserver si son état est permanent, ou qu'elle doit accélérer, si la pente de son lit vient à s'augmenter, ou enfin qu'elle doit perdre en tout ou en partie, si de nouveaux obstacles sont capables de rompre l'activité de son cours. C'est pourquoi en vain on a bien calculé pour un point déterminé, la vitesse qu'une portion de rivière doit avoir, et d'après la théorie, et d'après des expériences faites sur de courts espaces, si néanmoins tout paroît prouver que cette uniformité souvent supposée, ne se maintient point sur de grandes distances.

Quoi qu'il en soit, nous allons commencer à parler des barrages destinés à ménager une chute suffisante pour faire tourner la roue d'un moulin à bled, d'une scierie, d'un foulon, etc.; le produit des premières sources des rivières étant très-foible vers leur origine, les barrages coupent la totalité de leur lit, pour être en état de rassembler les eaux, et les soutenir à la hauteur nécessaire à la chute des moulins à mettre en activité; alors les usines se placent sur une des rives, dans une partie où l'on rencontre, au-dessous d'une grande largeur de lit, un point où il est plus rétréci, et l'on y place un barrage total; par cette disposition, la partie supérieure est destinée à servir de

biez au réservoir; les eaux s'y accumulent suffisamment pour faciliter le roulement de l'usine, pendant un certain temps, mais il y a des moulins dont la roue ne peut tourner que 11 heures sur 24, au bout duquel temps l'eau du réservoir est épuisée. On est ensuite occupé pendant 13 heures à accumuler les eaux, pour remplir le biez que le moulin a épuisé en onze heures.

Or, il est manifeste que la rencontre de ce biez éteint à leur arrivée la vitesse des eaux du canal supérieur, qu'elles y sont presque dormantes, et s'y élèvent lentement, jusqu'au niveau fixé pour mettre l'usine en mouvement, sauf le cas où par une crue même moyenne, ledit biez se remplit plus promptement, et l'excédent passe ensuite par-dessus le barrage, qui forme déversoir. Alors par l'effet de la chute de ce déversoir, l'eau tombe en bouillonnant, elle occasionne ordinairement une fouille au-dessous du barrage, et les terres ou graviers enlevés, sont portés plus bas, à peu de distance. Ensuite la rivière commence un nouveau cours, avec une vitesse relative à la pente du lit, mais cette vitesse est souvent troublée, soit par la rencontre de nouveaux barrages partiels, pour des pêcheries, ou des irrigations.

On vient de citer un produit de rivière,

pris à peu de distance des premières sources, mais ceux qu'on rencontre à la suite, en descendant, forment des biez mieux nourris et capables d'entretenir en même temps plusieurs moulins. Le produit des eaux de la Moselle, vis-à-vis d'Epinal, peut entretenir nuit et jour, en même temps, six moulins à bled en activité, lors des basses eaux d'été.

A mesure qu'une rivière grossit, son lit prend de la largeur, elle est souvent divisée par des îles, en deux bras inégaux en largeur; mais c'est ordinairement sur le petit bras qu'on place les moulins et usines; ce petit bras se nomme alors canal des moulins, et l'autre bras se nomme fausse rivière. L'un est entretenu à peu près rempli, et l'autre est sujet aux plus grandes vicissitudes. Or, comme toutes les crues surmontent le barrage du grand bras, c'est par cette fausse rivière que s'écoule la plus grande partie des débordemens, vu que le bras des moulins procure peu d'évacuation, malgré les vannes qui y sont pratiquées à côté des empalemens, à cause des embarras des bois d'eau qui obstruent en grande partie la section de ce canal.

Lorsque les grandes rivières ont reçu plusieurs de leurs principaux affluens, et ont acquis de la force, elles sont rarement barrées

en totalité, l'on n'y pratique que des barrages partiels, pour divers objets particuliers. La Loire n'a point de barrage total, depuis le Bec d'Alier, jusqu'à son embouchure, au-dessous de Nantes; elle a seulement deux barrages partiels sur cette longueur. On lui a assigné un lit déterminé, capable de contenir ses plus grands débordemens, mais son produit, en été, est réduit au-dessous de la quinzième partie de sa dépense, au moment des grandes crues; son cours, dans la saison des basses eaux, devient alors errant entre les deux rives, et se partage au milieu des grèves, en un grand nombre de bras inégaux en largeur et profondeur, et dont la forme et les directions changent sensiblement toutes les années, et éprouvent même des variations à chaque crue.

On forme dans le Rhin, de Bâle, à Nimegue, des barrages partiels, de quelques-uns des bras qui divisent le cours de ce fleuve; mais un barrage total y seroit inexécutable; on conserve toujours libre le cours du Talweg, dont la direction est sujette à de fréquens changemens.

La Moselle qui a 128 lieues de cours, depuis sa source jusqu'à son embouchure dans le Rhin, au-dessous de Coblentz, est coupée par environ 30 barrages complets, sur les 60 pre-

mières lieues, depuis sa source jusqu'à Metz, non compris les barrages partiels.

J'observerai en passant, que c'est dans les 28 dernières lieues, jusqu'au confluent, où cette rivière a une moindre pente, qu'on trouve les contours les plus nombreux et les plus sinueux, et qu'elle a généralement moins de largeur. Ces diverses circonstances paroissent manifestement contraires à la doctrine des coudes.

La Meuse a 115 lieues de cours, depuis sa source jusqu'à Venlo, près de la frontière Batave, en faisant un grand nombre de sinuosités. Les barrages sont très-multipliés, depuis sa source jusqu'à Verdun; ensuite entre Verdun et Venlo, il y a un grand nombre de bas de fond, où les bateaux sont souvent arrêtés pendant l'été, surtout entre Maestricht et Venlo.

Sur 47 lieues de cours qu'a la Sarre, il y a plus de 20 barrages sur les 25 premières lieues; ensuite sur les 22 lieues restantes, où la navigation se fait à cours libre, le lit offre beaucoup d'embarras, des roches, des îles et des pêcheries; on a eu l'occasion de constater par des expériences le fond du lit de cette rivière et ses changemens successifs sur environ 10 lieues de longueur, depuis Sarre-Libre jusqu'à l'ancienne abbaye de Metteloch, de 100 en

100 toises, et l'on y a reconnu des inégalités de profondeur fréquemment répétées. L'on a aussi retrouvé de semblables inégalités de fond, en faisant de pareilles expériences dans le cours des rivières de la Meurthe et la Moselle, depuis Nancy jusqu'à Frouârt, et de Frouart à Corny; je me dispenserai de citer d'autres rivières où je reconnoîtrois des circonstances semblables; j'en ai même peut-être trop dit pour ceux qui connoissent la plupart de ces détails, mais point assez pour ceux qui, par défaut d'observations locales suffisantes, se sont fait des idées inexactes du cours des rivières, et auxquels il paroît plus commode de considérer les lits de rivières comme des tuyaux de conduite, ou comme des canaux factices réguliers, pratiqués sur des espaces très-courts.

Cependant d'après tous les faits que je viens de citer, que devient donc la doctrine de plusieurs auteurs qui mettent en principe, que chaque rivière a une vitesse de régime qu'elle conserve la même, et avec laquelle elle coule d'un mouvement uniforme? Cependant on ne peut disconvenir que les prétendues vitesses de régime, ne peuvent subsister dans les portions de rivières coupées par des barrages complets; car il est évident que dans la saison

d'été, la vitesse des eaux du lit ou canal supérieur, va sensiblement en diminuant, en s'approchant du barrage; que les eaux sont presque stagnantes dans la partie formant biez, et que la vitesse seroit exactement nulle, sans la dépense des vannes qui provoquent un remplacement, et même lorsqu'une crue surmonte le barrage formant déversoir; de façon que les eaux puissent couler sur 10, 20 ou 30 centimètres de hauteur. Alors la vitesse des eaux du lit supérieur, quoique très-prononcée, est cependant encore ralentie à l'approche du barrage, jusqu'à l'instant où les eaux, déterminées par une pente vers la chute, s'y précipitent.

On pourroit m'objecter que l'on a entendu que le principe de ces vitesses de régime, n'étoit rigoureusement applicable que dans les portions de rivières où la navigation se fait à cours libre, telles que la Seine, depuis Montereau jusqu'à Rouen, et autres dans le même cas.

Il faut donc prouver que ces portions de rivières éprouvent comme les précédentes des changemens fréquens de vitesse. Je ne parlerai pas des expériences que j'ai faites dans la Sarre ou la Moselle, je préférerai de citer la rivière de Seine, où les faits sont mieux connus et

plus faciles à vérifier. Par exemple, il est évident que la rivière de Seine ne peut dépenser au pont des Tuileries, que l'eau qui en coulant a passé avant sous les arches du Pont-Neuf. Or la longueur de section du débouché des arches du Pont des Tuileries, est à celles du Pont-Neuf, comme 368 est à 571. Il faut donc pour fournir la même dépense, que la vitesse soit plus grande sous les arches du pont des Tuileries, que celle de l'eau au passage du Pont-Neuf. Mais en descendant plus bas vers Rouen, je citerai des changemens de vitesse beaucoup plus frappans, dans la partie qui traverse le département de l'Eure.

Par exemple, vis-à-vis Quatre-Age, le Pertuis de Martel qui exige pour le traverser une augmentation de douze chevaux de hâlage, et encore mieux au Pont de l'Arche, pour le passage duquel on est forcé d'employer pour le hâlage des travaux de bateaux qui remontent de Rouen 50 chevaux, ou 3 à 400 hommes, et pareillement au pont de Vernon et au pertuis de Pôle, tous les deux passages dangereux. Or, toutes ces difficultés ne proviennent que d'une augmentation subite de vitesse et de pente qui se trouvent dans ces passages, et que les bateaux ont à vaincre.

Si je ne voulois me borner aux faits les plus no-

toires je pourrois, par des expériences, constater à chaque pas des changemens de vitesse, non-seulement dans la Seine, mais dans le Rhône ou dans le Rhin; et ces changemens se confirmeroient par la progression des forces qu'on est contraint d'augmenter pour hâler les bateaux à mesure qu'ils remontent ces rivières, par un moyen quelconque.

Il en est de même des bateaux qu'on fait remonter à la voile : cette puissance devient insuffisante aussitôt que les pentes de la rivière et sa vitesse deviennent trop fortes; ainsi dans la Loire, les bateaux ont de la peine à remonter à la voile jusqu'à Gien et jamais au-dessus. Ceux du Rhin, remontent jusqu'à Spire, et jamais jusque vis-à-vis Strasbourg. Au-dessus de Spire, ils remontent avec des chevaux de hâlage.

Il résulte de tous ces détails, que l'existence des ces vitesses de régime, qui doivent se conserver les mêmes dans les rivières et couler d'un mouvement uniforme, n'est nullement démontrée.

Pour compléter ce que j'ai à dire à ce sujet, je vais indiquer ci-après les effets de l'écoulement de plusieurs déversoirs considérés en activité, d'après différens profils, et en supposant pour tous les cas un barrage avec mur de chute d'un mètre de hauteur.

Nous commencerons, fig. 8, par supposer que les eaux du biez supérieur sont immobiles et stagnantes avant que le déversoir ait coulé; qu'ensuite, dans le premier moment, l'eau commençant à surmonter le seuil, elle commencera à baver le long du mur de chute; mais dans l'instant où elle paroît couler sur une hauteur de 4 centimètres, le jet se détache du seuil, et forme en tombant une courbe parabolique.

2°. Si on suppose qu'un écoulement est dû à une hauteur de 32 centimètres au-dessus du seuil, la courbe de la chute prendra plus d'amplitude, et l'eau s'écoulera avec une vitesse d'environ 7 pieds 8 pouces par seconde. On peut supposer, en même temps, que la rivière dans la partie de son lit, située au-dessus du biez, coule avec une vitesse moyenne de 3 pieds 2 pouces due à une pente de 2 pouces par 100 toises ou $\frac{1}{3,600}$

3°. Quoique le lit de la rivière soit complettement barré, néanmoins la partie qui forme un déversoir régulier, peut n'avoir que le tiers, ou la moitié de la largeur moyenne du lit de rivière.

Or, suivant les circonstances, il pourra arriver que la dépense du déversoir, soit égale à la quantité d'eau qui est fournie au biez par la rivière; dans ce cas, le niveau du biez se main-

tiendra à la même hauteur. D'autres fois, lorsque la dépense du biez excédera le produit de la rivière, alors le niveau du biez s'abaissera, ainsi que la hauteur de l'écoulement; mais s'il survient une crue, elle augmentera le produit de l'écoulement à proportion de sa force. Si nous supposons, suivant la fig. 10, que la hauteur de l'écoulement est de 64 centimètres, cette hauteur de chute sera capable d'une vitesse d'environ 10 pieds 11 pouces par seconde, mais il arrive alors, que le lit inférieur ne pouvant évacuer dans la même proportion que les eaux afflueront par le déversoir, ce lit sera forcé de s'exhausser; enfin, à mesure que la hauteur de chute croîtra, la vitesse des eaux, à la sortie, devenant plus grande, tandis que celle du lit inférieur reste la même, ce lit inférieur s'élèvera dans une plus forte proportion; son niveau fera bientôt obstacle à l'irruption du jet, à la sortie du déversoir, de sorte que peu-à-peu les deux cours se confondront, comme on le voit par les fig. 11 et 12.

On pense qu'il est important de bien se représenter ces divers effets physiques, pour que les données des problèmes à résoudre, puissent se concilier avec l'ordre naturel des choses.

Au surplus, il ne faut point oublier que dans tous les cas précédens, lorsque les eaux coulent

avec quelqu'activité par les déversoirs, la vitesse de l'eau, à leur sortie, est presque toujours supérieure à celle du cours ordinaire de la rivière, ce qui doit empêcher l'eau du bassin qui touche intérieurement le mur de barrage, de tendre à s'élever vers le seuil. Enfin on est convaincu qu'il ne peut y avoir de choc, contre la face intérieure dudit mur de retenue, au-dessous de l'évacuation, comme quelques personnes l'ont cru.

Nota. Il m'a paru que M. Dubuat et moi, nous avions une idée différente de ce qu'on appelle remous, ce qui m'a paru exiger une explication.

Lorsqu'un vaisseau sous voile marche sur mer, ou dans une rivière, contre la direction du courant, le choc de l'eau produit à l'avant, une petite élévation qui est proportionnée à la vitesse du vaisseau, et que j'appelle reflux, parce que ce choc fait gonfler ou refluer les eaux; dans le même temps, le vaisseau, par sa marche, laisse à son arrière un trou, ou une trace de sillon, que les eaux voisines s'empressent de combler, en faisant des tournoiemens; elles semblent vouloir suivre la trace du vaisseau et remonter contre la direction du courant; or c'est ce dernier effet, cette marche rétrograde, que je nomme remous. Le même

effet se manifeste aux divers ponts; l'emplacement et la rencontre des piles, produit en amont dans un lit de rivière, une petite retenue qui élève l'eau, c'est un léger reflux. Ensuite elle accélère sa vitesse au passage des arches, les filets d'eau en sortant de plusieurs arches ayant de la divergence, se rencontrent en se choquant, il en résulte un tournoiement et un remous au-dessous des arrière-becs Le même effet arrive encore au-dessous des îles de moyenne largeur, par la rencontre et le choc de deux courans qui se réunissent.

Mais le barrage d'une rivière qui soutient dans la partie supérieure, une masse d'eau tranquille, produit dans le lit ordinaire une sur-élévation, qui fait refluer l'eau jusqu'à une certaine distance en remontant, et je nomme cet effet reflux.

Or, il m'a semblé que M. Dubuat appeloit remous, ce que je nomme reflux. Mais en déterminant à quelle distance en amont du barrage, le reflux ou le remous doit rencontrer le cours de la rivière, c'est le même effet, et le nom devient indifférent, lorsqu'on est convenu de l'effet qu'il désigne.

PREMIER RÉSUMÉ.

Par tout ce qui a été dit précédemment, on jugera que j'ai émis des opinions fort différentes de celles de M. Dubuat, sur la formation originelle des rivières, sur l'établissement de leur lit, sur les causes principales des grands débordemens, sur l'estimation de la grande dépense du produit des rivières, sur leur vitesse moyenne, sur les causes des changemens qu'elles éprouvent, sur les circonstances qui accompagnent en certains cas, la contraction de la veine fluide, et celle de l'écoulement, par les déversoirs des rivières, et il en résulte des explications contraires aux hypothèses sur lesquelles sont fondées la plus grande partie des données, pour la résolution des problèmes de M. Dubuat, et qui établissent sa doctrine et ses applications.

C'est maintenant à ceux qui ont eu l'occasion d'observer avec attention le cours de plusieurs rivières, avec les divers changemens dont elles sont susceptibles, à juger quelles sont les explications qui leur paroîtront les plus conformes à l'ordre naturel.

Cependant je crois devoir rendre justice à la pureté des principes de cet Ingénieur, et à l'exactitude de ses calculs; mais il a divisé son

ouvrage par numéros, tous sont liés entr'eux, et tellement, que par exemple la résolution d'un problème énoncé N°. 136, page 193, dépend d'un grand nombre de numéros précédens, que l'auteur a considérés comme démontrés.

C'est pourquoi si on adoptoit de préférence mes hypothèses, d'après mes explications, il conviendroit alors en faisant usage des principes de théorie généralement admis, refaire de nouveau les calculs des problèmes, où il seroit possible de les appliquer, car il y a bien des cas où les élémens sont si nombreux, si confondus, ou tellement combinés, qu'il paroît presque impossible de les soumettre à l'analyse.

Au surplus, comme dans tous les problèmes précédemment énoncés, et dans ceux qui suivent, on fait un fréquent usage des principes du mouvement uniforme appliqué au cours des rivières, et que l'on a donné dans l'ouvrage de M. Dubuat, beaucoup d'extension aux formules qui y sont relatives, qui ont été combinées suivant les circonstances, avec de nouveaux termes, j'ai cru nécessaire d'exposer ici les idées que j'en ai conçues, en les limitant, d'après mes observations, et en faisant en sorte de me conformer aux lois et aux principes généralement admis.

Application du mouvemennt uniforme au cours des rivières.

On se propose de comparer les vitesses des rivières de Seine et de Loire; on ne les considèrera ni dans le moment du plus bas étiage, ni dans celui des grands débordemens, mais pour le temps des eaux moyennes ordinaires.

Plusieurs auteurs ont assuré que la pente du lit de la Seine, vers le milieu de son cours, est d'un pouce pour 100 toises, ou de $\frac{1}{7,200}$ et que la profondeur moyenne est de 3,58 pieds, ou 3 pieds 7 pouces. On a assuré aussi que la vitesse de la Seine a été constatée de 25 pouces par seconde. On a de plus, observé que la vitesse due à une pente ou chute de $\frac{1}{7,200}$, auroit dû être de 26 pouces 10 lignes, au lieu de 25 pouces; mais on suppose que l'excédent de vitesse est perdu par l'effet des frottemens que les eaux éprouvent dans leur cours, de la part des parois, ou de la résistance des coudes, parce que suivant M. Dubuat, la force accélératrice devoit être égale à la somme des résistances, et à la vitesse restante.

Quant à ce qui concerne la Loire; on assure pareillement que sa pente vers le milieu de son cours, est de 2 pouces, pour 100 toises,

ou de $\frac{1}{3600}$ et que la profondeur moyenne est d'environ 34 pouces; mais la vitesse due à une chute ou pente de $\frac{1}{3600}$ devroit être d'environ 38 pouces par seconde, dont retranchant $\frac{1}{15}$ pour les frottemens et la viscosité, comme dessus, la vitesse restante devroit être de 35 pouces 6 lignes. Il s'en suit que si cette vitesse étoit bien constatée pour être la vitesse moyenne de cette rivière, alors en la multipliant par la surface d'une section moyenne, exprimée en pouces carrés, prise vers Orléans, on auroit le produit de la dépense de cette rivière, au moins pour le moment où sa profondeur moyenne seroit de 34 pouces, et comme depuis le Bec d'Alier jusqu'à Tours, la Loire n'est grossie par aucune rivière importante, et que celles qu'elle reçoit ne peuvent servir qu'à remplacer la perte par évaporation, il s'en suit que le produit de cette rivière doit être constamment le même, depuis le Bec d'Alier, jusqu'à Tours, sur environ 66 lieues de cours. Mais il est constaté que la pente de la Loire est beaucoup plus forte en remontant son cours, et que les bateaux qui remontent à la voile depuis Nantes, ne peuvent dépasser Gien en remontant sous voile, et qu'ils ont même de la peine à y arriver. Cependant le

produit de l'écoulement de la Loire entre le Bec d'Alier et la Charité, étant le même qu'entre Blois et Amboise, environ 50 lieues plus bas, et la vitesse entre le Bec d'Alier et la Charité, à cause de l'augmentation de pente, étant manifestement plus forte qu'entre Blois et Amboise, il faut, si la largeur de section est à peu près la même, que la profondeur d'eau soit diminuée, pour pouvoir donner le même produit. Or, c'est aussi ce qui arrive; à mesure qu'on remonte cette rivière, la vitesse augmente et la profondeur diminue. Cependant on ne croit pas que cet accroissement de pente et de vitesse se fasse bien régulièrement dans la proportion des longueurs du cours; on pense au contraire que quoique cela puisse être vrai à considérer généralement, néanmoins dans sa réalité les distances sont coupées assez irrégulièrement par des changemens de pente et de vitesse. (1)

De même pour la Seine, il est manifeste qu'en multipliant la surface d'une section prise au-dessus du confluent de la Marne, par la

(1) Il y a même des parties distinctes vers le haut du cours de la Loire, qui ont moins de pente que d'autres parties du bas de cette rivière, mais ces exceptions ne dérangent point l'effet général.

vitesse moyenne supposée de 25 pouces par seconde, on auroit le produit de la dépense de cette rivière, pour la profondeur de 3 pieds 7 pouces, aussi supposée moyenne; et que dans le même temps la Seine doit encore donner le même produit, au-dessous du confluent de l'Yonne, vu qu'il ne se trouve aucun affluent important dans cet intervalle. Mais comme il se trouve entre ces deux points une distance d'environ 20 lieues de cours, on est persuadé que la pente et la vitesse sont plus fortes dans la Seine, au-dessous de Montereau, qu'au-dessus de Charenton, et que parconséquent pour ne fournir que le même produit, il faut que la profondeur soit moindre au-dessous de Montereau. J'ai indiqué une profondeur d'eau déterminée pour ces diverses expériences, parce que lors des crues, la vitesse m'a paru augmenter sensiblement à mesure que l'eau s'élève. Mais je n'ai pu jusqu'à ce moment me procurer assez d'expérience de ce genre, pour pouvoir déterminer dans quelle proportion lesdites vitesses augmentent, suivant la hauteur des crues. Je me suis cependant assuré du fait, et j'ai reconnu que ces différences étoient plus sensibles dans les rivières qui ont le plus de pente. Au reste, si on vouloit se procurer le produit d'un grand débordement pendant un

temps donné, il faudroit non-seulement avoir la hauteur ou profondeur de l'eau, et le profil de la section, pour la hauteur de ce débordement, mais encore constater la vitesse moyenne du cours de la rivière, dans le même temps, et pour un point donné.

On jugera d'après ces détails que je ne pense point qu'on puisse appliquer à la généralité du cours de la Seine, la vitesse moyenne de 25 pouces par seconde, ni une profondeur réduite de 3 pieds 7 pouces, et qu'enfin je suis convaincu que la vitesse n'est point uniforme dans l'étendue du cours de cette rivière, ni d'aucune autre, comme quelques personnes l'ont supposé.

Quoi qu'il en soit, il m'a semblé que M. Dubuat avoit annoncé que les masses d'eau coulantes sur une pente déterminée, après avoir employé une partie de la force motrice à vaincre les frottemens du lit et la viscosité, marchoient ensuite uniformément avec la vitesse restante, qui ne pouvoit être ni accélérée, ni retardée suivant le cours ordinaire. Mais je ne suis point de cet avis; et pour en expliquer les motifs, je vais supposer un torrent qui parcourt un lit régulier de plusieurs centaines de mètres de longueur, et qui auroit une pente de $\frac{1}{50}$. On ne

peut pas nier que l'eau en parcourant une pente aussi rapide, ne marchât en accélérant progressivement sa vitesse, et qu'à la fin de cette pente, elle n'ait acquis une vitesse qu'elle doit conserver la même ou se maintenir uniformément à moins qu'une cause destructive ne s'y oppose : or, si à la fin de cette première pente, il en succédoit une seconde qui seroit, par exemple de $\frac{1}{1800}$, cette énorme différence opposeroit sûrement une résistance considérable à la direction du cours précédent, et conséquemment à la vitesse acquise; il y auroit à la rencontre des deux plans, choc, réflexion et bouillonnement qui détruiroient une partie de la vitesse acquise en parcourant la première pente. Alors les eaux s'élèveroient au commencement par l'effet de la différence de ce nouveau lit, qui ne pourroit évacuer ses eaux aussi promptement; ensuite une nouvelle vitesse s'établiroit d'après cette seconde pente qui est telle qu'elle produiroit encore une nouvelle accélération, mais d'un ordre inférieur à celle dont étoit capable la première pente. Enfin, si au bout de 6 à 700 mètres, on faisoit succéder une troisième pente de $\frac{1}{4800}$; ce troisième changement opposeroit encore un nouvel obs-

tacle à la vitesse existante à la fin du deuxième plan, qui en seroit encore altérée.

J'ai fait ces diverses suppositions pour expliquer comment les vitesses doivent successivement augmenter ou diminuer dans le cours des rivières, seulement par l'effet des changemens de pente dans le fond du lit; mais il faut, comme je l'ai précédemment observé, ajouter à cette cause, celles qui proviennent de la résistance des coudes, des inégalités de la forme et des largeurs du lit, de la rencontre des îles, des bancs de roche, des barrages, etc.

Je conviens cependant qu'il y a des cas où l'expérience paroît s'accorder avec les formules du mouvement uniforme, lorsque surtout il ne s'agit que de longueurs de lit trop petites pour qu'il puisse y survenir des changemens notables; ou lorsqu'un écoulement réglé dès l'origine est reçu dans un canal régulier d'une médiocre étendue, ou lorsqu'on cherche le produit d'une source qui s'écoule par un pertuis donné.

On fait un usage utile de ces moyens pour le jaugéage des petites rivières. Cependant on m'a objecté à l'occasion de la rivière de Seine : 1°. que lorsqu'on a supposé que la vitesse de cette rivière étoit de 25 pouces par seconde, il falloit entendre la vitesse moyenne, non-

seulement d'une de ses moyennes sections prises vers Paris, mais une vitesse qui est moyenne entre toutes celles qu'elle peut avoir dans toute l'étendue de son cours. 2°. Que la largeur du lit formant section, étoit également un section moyenne entre toutes celles prises sur la longueur du cours, et même qu'elle étoit moyenne eu égard aux diverses profondeurs de la rivière. 3°. Que la hauteur de 3,58 pieds ou trois pieds 7 pouces, est une profondeur moyenne qui a été prise d'après la table de M. Dubuat, qu'on trouve à la page 173, dont une colonne indique la profondeur de la Seine dans les diverses parties de son cours.

Or, ajoutoit-on, en multipliant la section moyenne exprimée en pouces carrés et réglée d'après les susdits élémens, par la vitesse uniforme de 25 pouces par seconde, on déterminera la dépense de cette rivière, par heure, par jour ou pour toute une année; et on trouvera, dit-on, par ce moyen un résultat qui égale à peu près le quart du produit des eaux pluviales sur les terreins qui environnent le cours principal et les affluens de la Seine.

Si ces suppositions étoient conformes à la vérité, il seroit difficile d'y répondre; mais il est aisé de se convaincre que la hauteur de 3 pieds 7 pouces ne peut être une profondeur

d'eau moyenne pour les différens états de la Seine. 1°. Parce qu'il reste encore en rivière au-dessous du plus bas étiage, une profondeur moyenne qui excède $\frac{2}{3}$ de mètre; 2°. parce que pendant les 2 à 3 mois d'été où les eaux sont basses, à l'exception d'une quinzaine de jours où les eaux sont au plus bas, la Seine conserve encore pendant le reste du temps une hauteur moyenne d'un demi-mètre au-dessus de l'étiage; 3°. si l'on n'ôtoit fidèlement mois par mois, ou par quinzaine à l'échelle du pont des Tuileries, les hauteurs d'eau qui règnent pendant environ six mois où la navigation est en grande activité, on reconnoîtroit que pendant cet intervalle, la hauteur commune des eaux excéderoit 2 mètres au-dessus de l'étiage, et que dans le mois des grandes crues, sa hauteur moyenne est de plus de 3 à 4 mètres au-dessus des basses eaux; c'est pourquoi, en faisant ces opérations, on trouveroit sûrement que la profondeur moyenne de la Seine excède 2 mètres depuis le fond du lit de cette rivière, au lieu de 3 pieds 7 pouces; 4°. si l'on a égard à la vitesse qu'a la Seine dans les moyennes ou hautes eaux, on trouvera vraisemblablement que la vitesse moyenne doit excéder 25 pouces par seconde; 5°. il paroît manifeste que la sur-

face de la moyenne section doit augmenter en proportion de l'excédent de profondeur qu'on vient d'indiquer.

D'où l'on concluera que les dimensions qui avoient été fixées pour la profondeur moyenne de la Seine, ainsi que pour sa vitesse, ne paroissent point admissibles, ainsi que les calculs de la dépense, qui ont été basés sur ces dimensions.

On va maintenant reprendre la suite de l'extrait de l'ouvrage de M. Dubuat; mais nous ne nous arrêterons qu'aux articles qui nous fourniront le sujet de quelques nouvelles observations.

CHAPITRE IV.

Suite du même sujet. Réflexions sur la manière de rendre navigables les rivières de moyenne grandeur.

162. (Page 227.) On lit : « on suppose dans cet article, une rivière de 40 pieds de largeur et trois pieds de profondeur avec une pente de $\frac{1}{4800}$. »

On a besoin pour le tirant d'eau des bateaux de 5 pieds de profondeur, c'est-à-dire une augmentation de deux pieds; mais on y parviendra par le moyen d'un barrage ou retenue;

en conséquence, on détermine quelle sera l'amplitude du reflux ou remous, qui sera le point au-dessus où il conviendra placer un autre barrage. Or, la pente étant déterminée, cette solution ne paroît offrir aucune difficulté.

EXEMPLE de la manière de rendre navigable une rivière dont le lit n'a pas encore de stabilité.

166. (Page 235.) « On lit : l'auteur suppose une petite rivière dont la pente est de 2 pouces pour 100 toises ou $\frac{1}{3600}$, dont la profondeur dans le temps des sécheresses de l'automne ne seroit que de deux pieds, mais qui seroit sujette à des crues qui font monter ses eaux jusqu'à neuf pieds de hauteur, dans un lit dont la largeur, par le bas, est de 18 pieds, et qui produiroit, lors des crues, une largeur d'environ 30 pieds. »

Nota. L'auteur observe que la vitesse réelle est de 39 pouces par seconde, et qu'il conviendroit la réduire à 24 pouces; et il annonce qu'il y a deux moyens d'y arriver, l'un de changer la pente de ce lit de rivière, en la diminuant, et l'autre en augmentant sa largeur aux dépens de sa profondeur. Ce second parti paroît moins efficace; mais l'auteur con-

vient que le premier moyen qui consiste à creuser un lit de rivière sur toute sa longueur n'est pas praticable, ainsi qu'il a été remarqué au nº. 135.

A l'égard du second parti, quel qu'il soit, pour résoudre la question, il estime qu'il est convenable de réduire la vitesse de régime à 27 pouces par seconde, au lieu de 24; et il trouve par ses calculs que le nouveau lit doit avoir 1802 pouces de largeur, c'est-à-dire environ 150 pieds au lieu de 30.

Ce résultat seroit à coup sûr fort dispendieux; d'ailleurs il y a beaucoup de circonstances où un lit de rivière est tellement resserré par la nature, qu'il seroit à peu près impossible de lui donner une largeur quintuple.

CHAPITRE V.

Des canaux en général. Chute qui se forme à leur entrée. Moyen de l'empêcher.

171. (Page 242.) L'auteur, en parlant des canaux, observe qu'il y en a qui sont de niveau d'une écluse à l'autre, et d'autres qui ont une pente réglée entre les sas. Il remarque que les canaux qui sont de niveau, ne dépensent que les écluses nécessaires pour la navigation, et ne donnent lieu à aucune observation; mais

que les canaux réguliers qui ont une pente réglée, ayant un écoulement perpétuel, font une dépense constante, quelque soit celle de la navigation. Or, cette dépense est le produit de la dépense de leurs sections, par une vitesse uniforme ou moyenne.

On s'occupe encore dans ce chapitre de la nécessité d'évaser l'entrée des canaux, à la sortie des réservoirs, pour faciliter l'affluence des eaux, et en faire entrer une quantité suffisante pour l'entretien desdits canaux.

CHAPITRE VI.

De la dépense des divers canaux.

(Page 253.) *Nota.* 1°. Il m'a paru par les problèmes compris dans ce chapitre, que l'auteur suppose que la vitesse initiale des canaux dont il s'agit, est due à une chute déterminée, et qu'ensuite en vertu de la pente réglée, l'eau prend une vitesse moyenne qu'elle conserve uniformement, en parcourant l'étendue d'une portion de canal entre deux écluses, surtout lorsque ce canal est régulier, et a une même section, et que moyennant ces conditions, la même profondeur d'eau doit se conserver sur sa longueur, et procurer aux bateaux le même tirant d'eau.

Nota. 2°. Mais pour que ces conditions soient remplies, il est nécessaire que l'eau du canal coule sur toute sa longueur, avec une vitesse exactement uniforme; car si en vertu de la pente, la vitesse venoit à s'accélérer, la profondeur d'eau diminueroit en proportion de ladite accélération. En effet, lorsque la dépense de l'eau est constante, on peut la regarder comme le produit de la surface d'une section prise au commencement du canal, par la vitesse qu'elle a dans ce point. Mais si la vitesse devenoit accélérée pendant son cours, il faudroit que sur la fin la profondeur fût diminuée, pour ne donner que le même produit.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il existe des pentes rapides, suivant lesquelles l'eau accélère sa vitesse en les parcourant, et qu'il y en a d'autres qui sont si foibles, que la force accélératrice que l'eau en reçoit est si petite, qu'elle suffit à peine pour vaincre les frottemens, ce qui doit alors rendre l'écoulement à peu près nul; cependant il est constant que l'eau s'écoule même en vertu d'une très-petite pente, et fournit dans ce cas une très-petite dépense; cela se remarque en voyant de petits corps légers flottant par un temps calme, qui ont une marche très-lente. M. Dubuat, page 65, prétend que l'eau commence à couler avec une

pente de $\frac{1}{6}$ de ligne pour 100 toises, ce qui cependant ne nous a pas paru bien démontré. Au reste, cet auteur, après avoir établi que la force accélératrice est égale à la résistance causée par les frottemens, et à la vitesse restante, évalue la seule résistance des frottemens à $\frac{1}{25}$, ou si l'on veut en y ajoutant celle des coudes à $\frac{1}{15}$, d'où il s'ensuit que si la force accélératrice étoit exprimée, par exemple par 15, il resteroit 14 pour l'expression de la vitesse restante, avec laquelle il suppose que l'eau doit marcher uniformement et sans trouble. Mais il paroît assez difficile de concevoir sur quel fondement; car, si comme il est démontré par l'expérience, la vitesse des eaux s'accélère en parcourant un plan fortement incliné, je le demande, quelle seroit l'inclinaison que devroit avoir un plan, pour que l'eau cessât d'y accélérer sa vitesse en le parcourant. Ce plan me paroît imaginaire, car si l'inclinaison est infiniment petite, la vitesse qui en pourra naître sera si petite, qu'elle se trouvera insuffisante pour vaincre la résistance des frottemens, même dans des canaux réguliers; et si la force motrice surpasse de très-peu la résistance des frottemens, il n'y aura qu'un commencement d'écoulement; il faut donc une force motrice,

manifestement supérieure, pour que l'eau après avoir vaincu les frottemens, puisse couler avec une vitesse sensible, dans toutes les parties de son lit, et dans ce cas, comme elle coule avec une vitesse dont on a déduit la résistance des frottemens, on doit alors prévoir que si ce canal, ou lit de rivière, a plusieurs kilomètres d'étendue, l'eau y acquerrera une accélération de vitesse en les parcourant.

Il m'a semblé qu'on s'étoit fait illusion sur l'application de la vitesse originelle, acquise d'après les lois de la gravité, en se rappelant qu'un réservoir entretenu plein, qui auroit par exemple 15 pieds de hauteur, et d'où l'eau sécoulant par un orifice beaucoup plus petit que sa base, sortiroit avec une vitesse proportionnelle à la racine carrée, de la hauteur de ce réservoir, et parce que le vase étant entretenu plein, la vitesse, à la sortie, est constante et uniforme; on en a conclu que cette vitesse qui est toujours la même, doit se maintenir dans le même état, tant qu'elle ne sera pas troublée par une cause quelconque. Cela est incontestable, mais j'observe que cette cause perturbatrice existe toujours, car après que l'eau est sortie du réservoir, si elle est abandonnée à elle-même, elle accélère sa chute en raison de de sa gravité, comme les autres corps pesans,

si elle est reçue dans un vase rempli d'eau stagnante, elle est forcée de passer du mouvement au repos; ou si après la sortie du premier réservoir, elle rencontre un plan incliné, sa vitesse sera retardée, ou accélérée en raison de l'inclinaison de ce plan, c'est-à-dire du rapport de sa hauteur à sa base; c'est pourquoi dans tous les cas, le mouvement acquis ne se soutiendra pas sans changement, on peut même dire qu'un mouvement rigoureusement uniforme n'existe pas plus sur la terre, qu'un mouvement perpétuel sans altération.

Cependant on ne doute pas que lorsque la pente du lit d'une rivière ou du canal est foible, la vitesse ne paroisse se soutenir assez uniformément sur la longueur de plusieurs centaines de mètres, mais les changemens de vitesse se font plus promptement apercevoir, lorsque la dépense et la pente sont plus fortes.

Enfin, pour dernière explication relative au mouvement de l'eau qui coule dans le lit des rivières ou canaux en vertu de leurs pentes; j'observerai, 1°. que tout corps qui se trouve posé sur un plan incliné se met en mouvement, lorsque la vitesse que peut lui procurer l'inclinaison de ce plan est en état de vaincre la résistance du frottement qui le retient en repos.

2°. Que lorsqu'il y a équilibre entre la puis-

sance et la résistance, il n'y a pas de mouvement, et qu'il faut que la vitesse surpasse la résistance pour que le corps commence à se mouvoir.

3°. Que lorsque l'eau commence à couler sur un plan quelconque, avec une vitesse qui surpasse celle nécessaire pour vaincre le frottement; comme en vertu de la pesanteur qui continue d'agir, l'eau reçoit à chaque instant de nouveaux degrés de vitesse, il s'ensuit que son mouvement doit être accéléré, et que cette accélération doit être uniforme, si la pente restant la même, la masse d'eau en mouvement reçoit des degrés égaux de vitesse; mais que les lois d'accélération doivent être différentes à mesure qu'il survient des changemens dans la pente d'un canal ou d'une rivière.

4°. Enfin, il résulte de ces principes, que quelque soit le fond d'un lit de rivière, qu'il soit composé d'une pente égale, ou de plusieurs pentes différentes, qu'il s'y rencontre même des contre-pentes qui soient suivies de pentes ou chutes rapides, aucune circonstance ne peut procurer à un cours de rivière une vitesse uniforme sur l'étendue d'un certain nombre de kilomètres.

Il s'ensuit définitivement que l'hypothèse qui suppose que les rivières ou canaux coulent

avec un mouvement uniforme sur la pente qui leur est propre est inadmissible, et que la théorie, quelque ingénieuse qu'elle fût, qui seroit fondée sur cette hypothèse paroît imaginaire.

Tout devroit être dit; mais quelques personnes ont insisté en faveur de l'opinion contraire, en citant plusieurs expériences, mais qui m'ont paru avoir été faites sur une étendue trop petite pour qu'on en puisse rien conclure. Car, en supposant qu'on trouvât une vitesse égale sur plusieurs petites portions de rivières éloignées entre elles de plusieurs lieues, cela ne prouveroit pas que dans les parties intermédiaires, il ne se rencontreroit pas des vitesses accélérées, et d'autres retardées. Je supposerai même que sur un cours de rivière de 2,400 mètres de longueur divisé en 24 parties, dont l'une d'elles auroit, par exemple, 36 pouces de vitesse par seconde;

Si l'on expérimentoit la vitesse subsistante sur chacune de ces parties à peu près dans le même temps, il se pourroit faire que la somme de ces vitesses partielles quoique sensiblement inégales entre elles, étant divisée par 24, donneroit une vitesse moyenne qui s'éloigneroit peu de 36 pouces; mais cette concordance accidentelle ne prouveroit rien en faveur du mouvement uniforme. Des observations attentives feroient

remarquer des changemens notables sur plusieurs des parties indiquées ; et si les différences réelles n'étoient pas plus grandes, c'est que des espaces de peu d'étendue ne peuvent présenter toutes les causes de résistance ou d'accélération dont on a parlé ci-dessus.

On a cru devoir beaucoup étendre les explications sur une question aussi importante qu'est celle du mouvement uniforme du cours des rivières, parce qu'on a pensé qu'il falloit nécessairement des preuves accumulées et présentées sous diverses faces, pour faire renoncer à des opinions accréditées.

CHAPITRE VII.

Des canaux garnis d'un vanage.

(Page 269.) Ce chapitre, outre plusieurs problèmes, basés sur les principes de l'auteur, présente deux tableaux d'expériences extraits des Œuvres de M. l'abbé Bossut. Ces expériences ont été faites dans un canal rectangulaire de cinq pouces de largeur et de 600 pieds de longueur, auquel on donne une pente de $\frac{1}{10}$. L'origine de ce canal étoit garnie d'une petite vanne ou pale de même largeur, qu'on levoit d'un ou deux pouces, pour recevoir

l'eau d'un réservoir entretenu plein ; la surface de l'eau du réservoir pouvoit être fixée à différentes hauteurs pour varier les charges, et on mesuroit dans chaque cas, la vitesse de l'eau dans le canal à sa surface, par les temps employés à parcourir chaque cent pieds.

Il paroît que la profondeur de l'eau, dans le canal, étoit communément au-dessous de deux pouces.

Nous avons cru utile de mettre sous les yeux du lecteur une copie du premier de ces tableaux, pour qu'on puisse juger des observations qu'il a fait naître. Je ne doute pas que les expériences très-délicates n'aient été faites avec beaucoup de soins ; mais ces expériences faites sur un aussi petit module, présentoient de grandes difficultés.

Suit le tableau de diverses expériences.

Numéros des expériences.	Hauteur totale du réservoir.	Hauteur moyenne du réservoir.	Hauteur de l'orifice.	Dépense par secondes calculées.	Profondeur uniforme dans le canal.	Vitesses moyennes dans le canal.
	Pouces.	Pouces.	Pouces.			
51	48	47,5	1	753,40	1,2240	122,97
52	48	47,0	2	1498,86	2,0447	146,43
53	24	23,5	1	529,93	0,9511	111,32
54	24	23,0	2	1048,52	1,5608	134.22
55	12	11,5	1	370,70	0,7406	100,00
56	12	11,0	2	724,15	1,1893	121,63
57	4	3,4944	1	204,35	0,4938	82,66
58	4	2,9720	2	376,91	0,7492	100,52

Nota. On auroit préféré que pour ces expériences, les eaux fussent sorties d'un vaste réservoir entretenu plein, et qui eût fourni constamment à l'entrée du canal une hauteur de section toujours égale, plutôt que de produire à l'origine pour alimenter ce canal, des vitesses dues à la hauteur de plusieurs chutes, dont on annonce que l'écoulement s'est fait ensuite avec des vitesses uniformes.

Cependant je vois par le susdit tableau, que dans les expériences des numéros 51 et 52, les vitesses produites d'après les hauteurs moyennes de 47,50 pouces et 47 pouces, qui auroient dû donner des vitesses de 184 pouces 9 lignes et 183 pouces 11 lignes par seconde, n'indiquent, par le tableau, que des vitesses moyennes de 122,97 pouces et de 146 pouces; d'où il suit que ces vitesses ont dû être retardées à la rencontre du plan du canal.

Si je considère ensuite les expériences des numéros 57 et 58, j'observe que les vitesses dues aux chutes de 3,49 pouces et de 2,97 pouces, qui auroient dû être de 50 pouces 2 lignes, et de 46 pouces par seconde, se trouvent être suivant le tableau de 82,66 pouces et de 100 pouces, ce qui semble prouver que pour ces deux dernières expériences, les vitesses ont été accélérées depuis leur sortie de l'orifice.

Mais ce qui d'ailleurs paroît confirmer que les vitesses restantes ne sont pas proportionnelles aux vitesses acquises par les chutes, c'est que les vitesses moyennes dudit canal, indiquées au tableau par les numéros 51 et 56, paroissent à peu près les mêmes, étant de 122,97 pouces et de 121,63 pouces, tandis qu'étant produites par des chutes moyennes de 47,50 pouces et de 11 pouces, elles devroient, d'après ces chutes, produire des vitesses de 184 pouces 9 lignes, et de 88 pouces 11 lignes par seconde, ce qui présente des différences énormes.

Au reste, j'aurois desiré, pour de semblables expériences, une longueur et largeur décuple de celles du précédent tableau, et de même pour des expériences comparatives à exécuter sur la vitesse des rivières, je désirerois qu'elles fussent faites et répétées sur différentes parties distantes entre elles de plusieurs lieues, et qui eussent une étendue proportionnée à l'importance de la rivière. Cependant si l'on rencontroit des vitesses égales dans des portions de rivières éloignées de 4 à 5 lieues, on pense qu'il conviendroit encore, comme on l'a dit ci-dessus, s'assurer s'il ne se trouve pas des vitesses différentes dans les parties intermédiaires.

CHAPITRE VIII.

Des canaux de dessèchement et de leurs accrues.

197. (Page 279.) *Nota.* Ce numéro contient des maximes sur l'utilité des dessèchemens.

Nos. 198, 199, 200 et 201. *Nota.* Par ces numéros on propose des applications des principes précédens, et on indique, planche 2, fig. 21, un terrein inondé par des eaux pluviales très-abondantes, dont le trop plein se dirige par un canal A B, sur une rivière voisine, dont la pente est de 2 pouces pour 100 toises ou $\frac{1}{3600}$; mais le fond de ce marais étant d'un même niveau, avec celui des basses eaux de ladite rivière, il s'ensuit qu'on ne peut opérer le dessèchement parfait de ce marais, que pendant les mois de juillet et août, temps des plus basses eaux; et que pendant le reste du temps, la rivière devenant plus haute et refluant par le canal A B, le dessèchement ne peut plus avoir lieu. Il est encore évident que pour y parvenir, il est nécessaire d'ouvrir un nouveau canal, qui partant du marais descende assez bas, pour que, vu la pente de la rivière voisine, l'écoulement puisse avoir lieu sans obstacle; et qu'il faut que ce canal ait une

largeur et une vitesse assez grandes, pour que l'écoulement qu'il doit procurer, puisse suffire à l'affluence des eaux qui nourrissent le marais.

PROBLÈME.

202. (Page 285.) On lit : « le produit d'eau, » en 24 heures, d'un bassin inondé étant donné, » (on l'a fixé ci-dessus à 120,000 toises cubes » par jour) la différence de niveau entre le » fond de ce bassin, et la surface des hautes » eaux d'une rivière voisine, étant aussi donnée; » (on l'a supposée de 3 pieds) ainsi que la pente » de cette rivière; (on l'a supposée de 2 pouces » par 100 toises); on demande la longueur et la » largeur d'un canal d'une profondeur donnée, » qui puisse tenir en tout temps le bassin à sec, » en jetant ses eaux dans la rivière, et dont » le cube de l'excavation soit le moindre pos- » sible. »

Nota. 1°. La profondeur du nouveau canal doit avoir des limites qui dépendent des autres données.

Nota. 2°. Après avoir fixé les dénominations d'après les susdites conditions, et en faisant usage de la formule ordinaire des vitesses uniformes, souvent relatées, on forme une équation de laquelle il résulte, que le nouveau canal

doit avoir 2604 toises de longueur, avec une largeur de 32 pieds 8 pouces, une vitesse de 18,36 pouces, et une pente de $\frac{1}{11664}$.

Mais on a observé que la plupart des données de ce problème sont fort difficiles à rencontrer, 1°. un marais qui reçoive tous les jours de l'année, une quantité de 120000 toises cubes d'eau, et dont le fond se trouve au même niveau que celui de l'étiage d'une rivière voisine; 2°. une rivière voisine, vraisemblablement plus large que le canal projeté, mais dont les hautes eaux ne s'élèvent que de 3 pieds; 3°. un terrein où l'on ait la faculté d'ouvrir sans empêchement, un canal de 2604 toises de longueur.

Au reste, ces observations ne préjudicient en rien à l'exactitude de la résolution du problème précédent, dont les calculs auroient pu être également appliqués à d'autres données.

205. (Page 290.) *Nota*. Ce numéro indique plusieurs circonstances qui donneroient des conditions différentes pour le dessèchement du marais proposé, ou qui s'opposeroient à son exécution totale ou partielle.

Nous aurions pu à cette occasion citer plusieurs marais existans dans plusieurs coins de la France, et indiquer des moyens à pratiquer, ou décrire plusieurs de ceux dont on fait un

usage utile, mais c'eût été nous écarter de l'œuvre de M. Dubuat.

N°. 206. *Nota.* On suppose un canal de 600 toises de longueur, qui tire ses eaux du même bassin ou marais, et qui ait une pente d'un pied sur cette longueur. L'auteur observe que si on tire du même bassin un canal qui joigne le premier au bout de 600 toises, l'accrue que le premier canal en recevra, fera gonfler ses eaux, mais moins d'un pied qui forme la pente totale de cette portion de canal; et il pense qu'on pourroit y jeter deux, trois, quatre, ou un plus grand nombre de canaux semblables, qui tous feroient augmenter la hauteur des eaux du premier canal, sans cependant que son niveau puisse jamais s'exhausser d'un pied, quelque grand que soit le nombre des accrues.

Je ne pense pas de même, j'estime qu'à la vérité les eaux que recevront ce canal, ne peuvent s'élever au-dessus d'un pied, qui est le niveau des eaux du bassin; mais je pense qu'à mesure qu'on réunira au premier canal, un certain nombre de canaux semblables, les eaux doivent s'élever successivement au point de jonction de ces canaux, avec le premier canal, et parvenir jusqu'à la hauteur du niveau du bassin; qu'ensuite tous les canaux qui auront formé leur réunion, fourniront ensemble

à la dépense du canal final, et en suivant la pente de ce dernier canal.

PROBLÈME.

207. (Page 294.) On lit : « un canal étant » donné, avec sa hauteur de réservoir, sa » pente, sa largeur et sa profondeur; on de- » mande à quelle distance du bassin d'où il » est parti, il peut recevoir les eaux d'un canal » semblable, et faire une dépense double, » triple, quadruple, etc. »

Nota. Ce problème est un développement de celui qui précède, et il est résolu d'après les mêmes principes.

Nous n'avons aucune nouvelle observation à faire à ce sujet.

CHAPITRE IX.

De la forme qui convient aux piles des ponts, aux bajoyers des écluses, et aux bateaux qui naviguent sur des rivières étroites. De quelques causes qui retardent ou accélèrent la vitesse des eaux courantes.

211. (Page 298.) L'auteur pense et établit qu'on ne peut obliger l'eau à passer brusquement d'un grand bassin dans un canal plus

resserré, sans former une chute qui donne une vitesse initiale, et que de même, en passant d'un canal très-large dans un plus étroit, elle doit augmenter de vitesse. Or, la vitesse ne peut devenir plus grande, dit-il, qu'elle ne soit précédée d'un remous, ou gonflement qui donne ensuite la chasse à l'eau. M. Dubuat pense que les effets doivent toujours produire une contraction, qui doit diminuer la dépense de l'évacuation, dans le rapport de $\sqrt{724}$ à $\sqrt{600}$

Nota. On observe que si la contraction avoit lieu au passage des écluses, ou des arches, elle ne pourroit être la même que celle qui a eu lieu lors de l'écoulement de l'eau, par des orifices pratiqués dans des réservoirs. Au surplus, on va ci-après s'expliquer très-amplement sur ce sujet.

N°s. 212, 213, 214, 215 et 216. Pour ce qui concerne une rivière ou un canal, où l'on projeteroit de former accidentellement un barrage avec des poutrelles, ou de placer des portes tournantes entre des bajoyers, ou sous une arche de pont, M. Dubuat propose de tracer le plan des bajoyers, suivant les courbes E *b s t* et G R S T H, ou bien dans le cas où l'on ajouteroit une pile à ce pont, de la tracer suivant le même principe, voyez planche 2, les fig.

22, 23 et 24, et il pense que cette forme a l'avantage de présenter moins de résistance à l'eau, lors de son écoulement. Il croit aussi qu'on devroit adopter cette forme, dans la construction des bateaux.

(Page 304.) Cependant l'auteur convient ensuite, N°. 218, que *la forme aigue qu'il propose, et les angles affoiblis des piles, tracés de cette manière, paroissent et seroient en effet peu convenables aux avant-becs des ponts établis sur des rivières considérables*, c'est pourquoi nous nous dispenserons de parler de tous les inconvéniens qui résulteroient en effet des piles, culées ou bajoyers qui seroient tracés suivant cette forme.

Mais je crois devoir placer ici plusieurs observations que j'ai eu l'occasion de faire, au sujet de l'écoulement des rivières, sous les arches de plusieurs ponts, et à diverses époques.

Je vais faire diverses suppositions, que je crois nécessaires pour me faire mieux comprendre.

Je suppose une rivière à peu près telle que la Seine, et qui auroit 360 pieds de largeur entre ses rives, un cours direct de plusieurs kilomètres d'étendue, sans changement, une profondeur égale de 2 mètres, et une vitesse uniforme de 30 pouces par seconde, au moins

sensiblement la même, sur l'étendue de 3 kilomètres au-dessus de mon expérience, et de deux kilomètres au-dessous. Je supposerai encore que le fond du lit est à très-peu près, parallèlle à la surface du courant, et d'une section régulière dans la même étendue.

Il résulte de ces données que l'eau doit couler sans obstacle dans un pareil lit, et sans éprouver d'autre résistance que celle du frottement du fond de son lit et de ses rives; et lorsque le temps est calme, la surface de l'eau coulante doit présenter une surface assez unie, mais si tout à coup je posois au milieu de ce cours de rivière un corps fixe de trois à quatre mètres d'épaisseur, il est évident qu'il en résulteroit deux effets, l'un seroit de rétrécir le lit de rivière, et l'autre d'opposer à ce point un obstacle à la vitesse du courant, qui par son choc feroit élever l'eau au-dessus de son niveau, particulièrement en avant de l'obstacle. Mais au lieu de cet obstacle, je vais maintenant supposer qu'on a établi dans le même emplacement un pont de pierre de 5 arches, chacune de 60 pieds d'ouverture; et que l'épaisseur des piles et demi-piles joignant les culées, occupe ensemble le cinquième du vide des arches de ce pont, suivant l'usage le plus ordinaire : moyennant quoi il ne resteroit que

300 pieds de longueur de vide pour le passage des eaux, déduction faite de 60 pieds de plein pour les piles. Je suppose encore que les piédroits des piles et culées ont 2 mètres de hauteur au-dessus du fond du lit de la rivière.

Maintenant nous allons examiner ce qui doit arriver par suite de ces diverses suppositions.

On jugera : 1°. que la rivière qui couloit à plein sur un lit régulier de 360 pieds de largeur, avec une vitesse uniforme de 30 pouces par seconde, sera troublée par le placement dudit pont qui rétrécit la largeur de son lit d'évacuation, et le réduit à une étendue de 300 pieds au lieu de 360.

2°. Pour procurer à cette rivière la même évacuation par un passage plus étroit que celui qu'elle avoit précédemment, et pour que la dépense soit la même, il faut ou que la vitesse augmente au passage sous les arches, ou que les eaux s'élèvent, et que l'effet résultant participe de ces deux changemens.

3°. En vertu de la vitesse de la rivière, les piles doivent recevoir un choc de la part des eaux affluentes, et par suite de cet effet, l'eau doit s'élever le long de la pointe et de la face des avant-becs, au-dessus de son niveau, et cet effet est d'autant plus sensible que la vitesse est plus grande.

4°. Il est manifeste que la diminution de la largeur de lit causée par l'emplacement des arches occasionne en amont un reflux, ou une sur-élévation de la surface des eaux; mais cette augmentation de hauteur au-dessus de son premier niveau, ne peut être une ligne horizontale, à cause des modifications que l'eau reçoit à la rencontre des avant-becs des piles et de leurs formes qui la dirige vers l'ouverture des arches.

5°. Comme on l'a dit, par l'effet du choc des eaux contre les avant-becs, l'eau s'élève au-dessus de son niveau, mais en se précipitant ensuite vers le vide de chaque arche, elle cause des bouillonnemens et forme une espèce de cataracte. J'ai eu occasion d'observer dans mon dernier ouvrage, que cette espèce de chute tendoit à former des affouillemens aux épaulemens d'amont des piles. On remarque encore que la différence de niveau le long des flancs des piles, se fait apercevoir très-sensiblement pendant l'écoulement vis-à-vis des assises des piles, qui sont plus découvertes en aval qu'en amont (1).

(1) Quoique la section du lit des eaux à l'aplomb de la tête d'amont des arches d'un pont, prise entre les piles, soit plus élevée que celle à l'aplomb de la

6°. Il paroît évident que pour suppléer au rétrécissement du lit, l'eau acquiert au passage des arches une augmentation de vitesse très-sensible, qui se fait remarquer dans le lit inférieur au-dessous du pont, jusqu'à la distance de plus de 50 mètres plus ou moins, suivant la vitesse du régime, mais qui est telle qu'en compensant la diminution de la section, elle fournit une dépense égale à celle qui avoit lieu avant l'existence du pont, deux kilomètres au-dessus ou au-dessous.

7°. Quoique les eaux qui coulent le long des avant-becs semblent se presser de fournir à la dépense des arches, néanmoins il ne peut y avoir aucune contraction dans cette occasion, parce qu'il n'y a aucune cause qui puisse occasionner de rétrécissement, ni à l'entrée, ni à la sortie des arches. On peut même considérer

---

tête d'aval, à cause de la sur-élévation qui se remarque en amont de l'épaulement des piles; néanmoins il ne s'ensuit pas que le milieu du cours, sous les arches, soit plus élevé en amont qu'en aval, on croit ces deux points à peu près de niveau, parce que la section d'amont en avant des arches, forme des courbes très-abaissées dans leur milieu. Mais c'est surtout la sur-élévation de l'eau près des avant-becs qui occasionne l'excès de vitesse et qui compense ainsi le plein des piles.

la longueur de chaque arche comme un tuyau additionnel qui dirige l'écoulement vers la sortie de chaque arche: or, bien loin qu'il y ait un rétrécissement qui puisse diminuer la dépense, il y a divergence dans les filets d'eau à la sortie des arches, et cette divergence est occasionnée parce que le lit inférieur est un peu plus bas au-dessous du pont vis-à-vis les arrière-becs, qu'au passage sous les arches.

8°. Cette divergence qui forme chute occasionne encore des affouillemens aux épaulemens d'aval des piles, et comme elle a lieu en même temps dans toutes les arches, la rencontre de ces masses d'eau divergentes en se choquant entre elles, font naître des tournoiemens et un remous au-dessous desdits arrière-becs. Les eaux bouillonnantes en tournant paroissent remonter le cours de leur lit de plusieurs mètres, pour se réunir ensuite au cours principal.

On conclura de tous les détails précédens, que la contraction n'a pas lieu au passage de l'eau sous les arches des ponts, et qu'il n'y a aucune cause qui puisse occasionner le rétrécissement de la veine fluide, ce que nous avions à cœur de démontrer.

N°. 219. L'auteur parle dans ce numéro des reflux ou remous qu'occasionnent les bateaux

qui naviguent dans des canaux ou rivières, qui ont peu de largeur. Ce reflux est d'autant plus grand que les rivières sont plus étroites, ce qui est incontestable et confirmé d'ailleurs par l'expérience.

(Page 306.) Même numéro. On lit : « une » autre espèce d'obstacle moins visible, mais » aussi réel, est cette sorte de roseaux qui croît » dans le fond des rivières, et dont les feuilles » se courbant suivant le fil de l'eau, leur pré- » sentent une surface multipliée, qui augmente » considérablement la résistance naturelle du » lit. Si par hypothèse on connoissoit la somme » des périmètres de toutes les feuilles qui se » trouvent à la fois dans la section d'une rivière, » et qu'on l'ajoutât à celui du lit, on pourroit » substituer cette somme dans la formation » du rayon moyen, à la place de la paroi or- » dinaire, exprimée par $l + 2\,h$, et on auroit » un rayon moyen extrêmement diminué, » qui combiné avec la pente, qui reste la » même, donneroit une vitesse et une dépense » beaucoup trop petites, si la section ne s'éle- » voit pas assez pour compenser cette augmen- » tation de résistance ».

Nota. On n'argumentera pas contre l'exactitude ou la difficulté de ces compensations ; on se bornera à observer, qu'en supposant

qu'il fût possible d'exprimer par le calcul le développement des feuilles de roseaux qui s'élèvent du fond du lit d'une rivière ou canal, pour en tapisser la surface, ce que je ne crois pas, j'observerai que ces roseaux ne me paroissent pas seulement résister, eu égard à leur surface, à la manière du frottement provenant de la résistance de la paroi; mais que le bateau qui en marchant les fait plier, éprouve d'autant plus de résistance, que ces roseaux pliés font des efforts pour se relever, et que ce seroit cette résistance qu'il conviendroit évaluer. Au surplus, heureusement ces cas sont très-rares, et lorsqu'accidentellement ils se présentent, les bateliers n'ont pas recours au calcul pour les vaincre.

Quoi qu'il en soit, M. Dubuat termine par conclure sur la nécessité qu'il y a de purger les rivières de roseaux et de curer leur lit, ce qui est doublement utile.

Plus loin, en continuant, il remarque que lorsqu'une rivière est gelée, son écoulement éprouve une augmentation de frottement par la pression de la glace sur la surface de l'eau. Il observe encore, à la suite, qu'un vent plus ou moins fort, nuit, ou accélère la vitesse du cours d'une rivière, ce qui paroît incontestable.

222. (Page 311.) On lit : « dans *un courant uniforme et bien réglé, la surface de l'eau d'une rivière, d'un bord à l'autre, n'est pas terminée par une ligne droite, mais par une courbe convexe, c'est-à-dire, que le milieu est plus élevé que les bords.* »

Nous nous sommes expliqués sur ce phénomène dans notre ouvrage sur les rivières et torrens; mais nous avons remarqué que cet effet n'étoit pas constamment le même, que lors de l'arrivée d'une forte crue, les rivières ou fleuves étoient bombés ou convexes dans leur milieu, plus ou moins, suivant que la crue étoit plus forte et arrivoit avec rapidité; mais qu'ensuite la surface s'applatissoit peu à peu, et lorsque la crue paroissoit s'évacuer promptement, le milieu du lit devenoit concave.

Ayant habité pendant plusieurs années sur le bord de la Loire, j'avois médité un appareil, pour mesurer la flèche de la convexité, lors de l'arrivée des fortes crues; dans un bras de cette rivière qui avoit environ 280 mètres d'étendue, je projetois de faire usage d'un petit bateau que j'aurois fait enfoncer dans l'eau, en le chargeant, jusqu'à ce que le tirant d'eau approchât de l'affleurement de son bord; ensuite sur le bord de ce bateau, fixé sur une des rives, mon œil, à la faveur d'une bonne

lunette, auroit visé attentivement sur l'autre rive, une mire graduée, susceptible d'être élevée ou abaissée à volonté, par le moyen de signaux de diverses couleurs. J'aurois pu même facilement répéter ces expériences alternativement sur les deux rives, et pour différentes grandes crues, dont la hauteur sur l'étiage, auroit été désignée. Mais je le dis à regret, j'en ai manqué l'occasion. (1) Cependant j'ai observé un grand nombre de fois, dans des crues importantes, que lorsque la Loire croissoit, la première moitié du lit, qui touchoit la rive où j'étois placé, réfléchissoit la lumière à mes yeux, tandis que l'autre moitié restoit dans l'ombre, et que c'étoit le contraire lorsque cette rivière diminuoit; alors la moitié du lit la plus éloignée étoit vivement éclairée, tandis que la plus près de moi, restoit dans l'ombre.

(1) Voyez planche 2, fig. Si la plus grande hauteur de bombement est au milieu du lit, alors le rayon visuel qui auroit rasé la superficie de l'eau, auroit indiqué sur l'autre rive à la mire, une hauteur double du bombement, c'est-à-dire que 16 pouces à la mire, auroient indiqué 8 pouces de bombement, et les rayons visuels des deux rives auroient donné des hauteurs égales, mais si ces hauteurs eussent été inégales, c'est que le bombement n'eût pas été dans le milieu.

SECTION IV.

Des conduites d'eau, et du mouvement irrégulier dans les tuyaux.

224. (Page 315.) Ce numéro contient des observations et des maximes générales.

CHAPITRE Ier.

Du mouvement de l'eau dans les aquéducs.

N°. 225. On lit : *les aquéducs sont une copie en petit des petits canaux.*

Nota. M. Dubuat considère dans ce numéro le projet de M. Desparcieux, d'amener à Paris les eaux de la rivière de l'Yvette. Cet académicien se proposoit de prendre les eaux de cette rivière à environ 18000 toises de distance, et de les amener à Paris, par le moyen d'un canal-aquéduc en maçonnerie, de 7 à 8 pieds de largeur, sur 2 à 3 pieds de profondeur, et il avoit estimé que les eaux de cette rivière pouvoient fournir 1200 pouces dans les temps de sécheresse.

M. Perronet ayant été chargé en 1769, après la mort de M. Desparcieux, de reprendre le projet du canal de l'Yvette, de nouvelles mesures qu'il fit prendre, lui firent connoître,

qu'en faisant la prise d'eau à Vaugien, comme M. Desparcieux, l'aquéduc de l'Yvette devoit avoir 17352 toises de longueur, dont 15141 toises à découvert, et 2211 toises, en 15 parties couvertes ou souterreines.

M. Perronet, dans son grand ouvrage annonce que la pente dudit canal, depuis le point de la prise d'eau de l'Yvette ci-dessus indiqué, jusqu'au bassin du bouillon d'Arcueil, est de..... 45 pieds 7 p°. 7 lig.

mais il se proposoit d'établir une nouvelle prise d'eau 6 pieds 4 pouces plus haut pour pouvoir fournir de l'eau à l'Estrapade, ci..... 6 pieds 4 p°. 0

Ce qui produit une pente totale de..... 51 pieds 11 p. 7 lig.

Et en déduisant, sur cette pente, une hauteur de 5 pieds pour les filtres à établir..... 5 pieds 0 0

Il doit rester de pente.. 46 pieds 11 p. 7 lig.

M. Dubuat déduit encore 15 pieds sur cette pente, pour évaluation d'autres résistances à

vaincre de la part de la figure ou des sinuosités du canal projeté.

Cependant on a observé que les changemens de figure dans le canal, peuvent bien altérer en partie sa vitesse, mais on ne croit pas qu'ils puissent en diminuer la pente, et surtout de 15 pieds sur 46.

M. Dubuat a ensuite observé que M. Perronet avoit adopté pour son canal-aquéduc, une pente de 15 pouces pour 1000 toises, ou 1 pouce 6 lignes par 100 toises, parce qu'il s'étoit proposé de donner une plus forte pente, dans les parties couvertes, qui devoient être les plus étroites, car la pente uniforme de 15 pouces pour 1000 toises, ne lui auroit donné pour les 17,352 toises de longueur, qu'une hauteur d'environ 21 pieds 8 pouces.

M. Perronet annonce encore qu'il a fait des expériences sur des portions de canal, dont la pente étoit réglée à raison de 15 pouces par 1000 toises, et qu'il a trouvé une vitesse d'environ 12 pouces par seconde, et en calculant d'après la section de son canal, pour une hauteur d'eau constante, il trouve un produit de 2840 pouces d'eau. Cependant il faut observer ici que le produit de 2840 pouces, que M. Perronet obtient par le calcul de la vitesse multipliée par la surface de la section, ne peut

avoir lieu que pour le temps des eaux moyennes; car il avoit vérifié par un nouveau jaugeage, que l'Yvette dans les temps des sécheresses, ne donnoit que 1000 pouces, et en y joignant 450 pouces pour le produit de la Bièvre, le produit total se réduisoit à 1450 pouces d'eau.

Mais M. Dubuat d'après ses formules, a déterminé que pour la susdite pente, la vitesse devoit être de 18 pouces 1 ligne par seconde, au lieu de douze pouces, ce qui devoit augmenter le susdit produit d'une moitié en sus; c'est pourquoi en supposant avec lui, le plus grand produit possible, fixé à 3000 pouces, la vitesse à 18 pouces 1 ligne, et la pente totale à 30 pieds, il cherche d'après ces formules, la largeur x, qu'il convient donner au nouveau canal, et par la suite du calcul, il trouve que x égale 64 pouces, ou 5 pieds 4 pouces. Néanmoins il estime que par économie sur les constructions, on peut réduire la largeur de ce canal à 5 pieds 6 pouces.

Nous nous dispenserons de faire aucune observation sur ces divers résultats.

CHAPITRE II.

Du mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

Nota. (Page 322.) La plupart des observations que nous avons faites précédemment, trouveront peu d'application aux trois problèmes contenus dans ce chapitre.

PROBLÈME Ier.

N°. 227. On lit : *connoissant la hauteur du réservoir, la longueur, et le diamètre d'un tuyau de conduite ; déterminer sa dépense.*

Nota. L'auteur fait usage des anciennes dénominations, et d'après les principes du numéro (9); il s'agit de déterminer la vitesse moyenne V, pour en conclure la dépense cherchée; mais après avoir substitué dans la formule, une valeur de la pente fictive, il arrive à une expression de ladite vitesse qui est très-compliquée; ce qui l'oblige d'avoir recours au moyen d'approximation : méthode dont l'auteur s'est servi pour calculer les expériences du tableau général (55).

N°. 229. On lit : « si la conduite faisoit un

» certain nombre de sinuosités connues, une » partie de la charge seroit employée à vaincre » cette résistance, qui seroit encore proportionnelle au carré de la vitesse. On pourra » exprimer par $\frac{V^2}{ni}$ cette quantité que nous » avons déterminée ci-devant (105) pour une » seule bricole, en y faisant entrer le nombre » et la nature des bricoles ».

Nota. On n'a rien à ajouter à ce qui a été dit précédemment.

PROBLÈME IIe.

230. (Page 325.) On lit : *connoissant la hauteur du réservoir et la longueur du tuyau de conduite, on demande quel doit être son diamètre, pour obtenir une dépense donnée?*

Nota. La résolution de ce problème et son application ont paru ingénieuses et bien entendues; on ne les présente pas par extrait, parce qu'il faudroit copier le tout, pour en donner une idée complète.

N°. 232. *Nota.* Ce numéro contient des réflexions judicieuses pour la conservation des tuyaux de conduite, et sur la nécessité d'obvier aux dépôts terreux et aux engorgemens de l'air, en plaçant des ventouses aux coudes supérieurs et des dégorgeoirs dans les inférieurs,

avec des robinets pour susprendre à propos l'écoulement.

PROBLÈME IIIe.

234. (Page 330.) On lit : *connoissant l'étendue d'un réservoir prismatique, qui se vide par un tuyau de conduite, dont le diamètre, la longeur et la hauteur primitive de réservoirs sont données; on demande la relation entre la dépense et le temps.*

Nota. Pour la résolution de ce problème, et afin d'éviter les difficultés que présente l'équation des vitesses, l'auteur a recours aux moyens de simplification, dont il a fait usage pour le premier problème de ce chapitre.

CHAPITRE III.

Du mouvement de l'eau au passage d'un orifice.

237, 238 et 239. (Page 334.) M. Dubuat examine de nouveau les effets de la contraction de la veine fluide, dont il a déjà parlé dans le chapitre premier de la première section. Il rappelle que Newton est le premier qui a remarqué cet effet; que M. l'abbé Bossut, après un grand nombre d'expériences, a con-

clu que le rapport de la surface de la veine contractée, étoit à celle de l'orifice, comme 1 à 1,50; et que même pour plus d'exactitude, en ayant égard au frottement des bords de l'orifice, la dépense effective est à la dépense théorique, comme 1 à 1,615 ou de 5 à 8, rapport que l'on croit suffisant d'adopter dans la pratique.

M. Dubuat prétend que les petites différences qu'on a remarquées entre divers rapports, proviennent de ce que M. l'abbé Bossut n'a pu se procurer, avec assez de précision, le diamètre de la veine contractée, en faisant usage d'un compas d'épaisseur.

N°. 240. L'auteur a observé dans ce numéro, que les vitesses et la contraction dans les orifices carrés, étoient à même charge, constamment les mêmes que celles des orifices circulaires, dont les diamètres étoient égaux aux côtés des premiers. Il pense encore que la résistance de l'air à la sortie des orifices, occasionne aussi une résistance qui doit modifier la vitesse finale, et d'après ces circonstances, il détermine une nouvelle expression de V, qui présente une formule assez compliquée.

Il observe ensuite que dans la première expérience de M. l'abbé Bossut, les premiers orifices sont percés horizontalement au fond du

vase, sous une charge de 11 pieds 8 pouces 10 lignes; mais qu'en divisant leur dépense par seconde, par la section de l'orifice, diminuée dans le rapport de 1,6086 à 1, on doit avoir les vitesses d'expériences; et il ajoute qu'on peut les comparer dans le tableau suivant aux vitesses calculées, d'après la formule, et à la vitesse naturelle due à une hauteur de 11 d. 8 o. 10 t. qui est de 319,31.

COPIE DU TABLEAU.

Expériences.	Figure des orifices.	Dimensions des orifices.	Rayon moyen.	Vitesses d'expérience	Vitesses calculées.
		lignes.			
1	circulaire.	0,6	0,125	315,5	315,5
2	*idem.*	1,0	0,250	316,8	316,8
3	*idem.*	2,0	0,500	317,4	317,4
4	rectang.	1,3	0,100	314,5	314,8
5	carré.	1,0	0,250	316,8	316,8
6	carré.	2,0	0,500	317,4	317,4

L'auteur observe que les comparaisons qui résultent de ce tableau, doivent donner une idée avantageuse de la précision des expérien-

ces de M. l'abbé Bossut, et de la confiance qu'on doit à la formule dont il a fait usage.

Il ajoute qu'il est bien éloigné de vouloir conclure d'un aussi petit nombre d'expériences les limites précises de la nature; mais qu'il a eu seulement pour but de démontrer que la vitesse des orifices est bornée, comme le prouvent quantité d'expériences de M. Mariote.

242. (Page 341.) On lit : « les expériences sur les orifices verticaux que nous devons à M. l'abbé Bossut, présentent des résultats très-satisfaisans, comme on en peut juger par le tableau suivant. »

Expériences.	Diamètre des orifices.	Charges.	Vitesses d'expérience	Vitesses calculées.
	lignes.			
7	0,6	9	275,0	276,8
8	1,0	9	277,7	277,8
9	0,6	4	184,7	125,3
10	1,0	4	184,6	185,7

243. *Nota* 1°. Ce numéro a pour objet, de confirmer la précision de la formule appliquée à la vitesse des réservoirs qui se vident.

Nota 2°. Je crois devoir rappeler ici que le déchet de la dépense effective d'un réservoir, sur la dépense théorique, à la sortie des orifices provient surtout de la contraction de la veine fluide, du frottement contre les bords des orifices, et encore un peu de la résistance de l'air. Mais il paroît évident que la résistance causée par les bords des orifices circulaires, doit être plus grande à proportion dans les petits orifices, que dans les grands, vu que les petits cercles ont à proportion plus de périmètre. Au surplus, il est certain que le résultat des dépenses effectives provenant d'un grand nombre d'expériences répétées, comprend l'effet qui est produit par les diverses causes réunies qui ont occasionné le déchet, sans qu'on puisse assigner ce qui appartient à chacune, ce qui dans la pratique est assez indifférent.

Cependant j'observe à l'égard de la contraction, que toutes les expériences connues, m'ont paru avoir été faites avec des petits orifices; moyennant quoi on peut mettre en doute si cette contraction seroit exactement la même pour les grands orifices, comme pour de petits.

M. l'abbé Bossut a fait usage pour la plupart de ses expériences, d'un réservoir entretenu plein, dont la base avoit trois pieds en

carré, ou 1296 pouces de superficie, avec des orifices d'un et deux pouces, et une hauteur de charge de 11 pieds 8 pouces; alors le rapport d'un orifice circulaire de 2 pouces de diamètre, étoit à la base de ce réservoir, comme 1 à 412, ou comme de 1 à 324, si l'orifice étoit carré. Mais j'aurois désiré qu'on eût fait de semblables expériences comparativement, avec des orifices circulaires, ou carrés, de 2, 4, 6 et 8 pouces de diamètre ou de côté, et qu'on y eût employé des réservoirs dont les bases carrées auroient eu 3, 6, 9, et 12 pieds de côté, parce qu'alors le rapport des orifices à leur base auroit été, dans tous les cas de $\frac{1}{324}$ ou de $\frac{1}{412}$, suivant que l'orifice auroit été carré ou circulaire. Enfin en faisant les expériences proposées, on auroit pu alors juger si l'effet de la contraction ne diminuoit pas à mesure que les orifices augmentent, ainsi que l'effet du frottement de la part du périmètre, comme je suis porté à le croire, et dans quelle proportion? Car il me paroît irrégulier de conclure du petit au grand dans la pratique, je préférerois le parti contraire; mais je le sens, il faut des circonstances favorables pour l'exécution de ces expériences, et on prévoit combien, dans le fait, il seroit difficile d'entretenir

constamment pleins, des réservoirs qui auroient plus de 11 pieds de charge, au-dessus de leur écoulement, et dont les dépenses s'effectueroient par des orifices circulaires de 8 pouces de diamètre. Cependant il seroit à desirer qu'on pût encore avec ces grands orifices, répéter les expériences, avec des charges différentes de 11 pieds, de 9 et de 4 pieds, afin de comparer les nouveaux résultats, avec ceux des anciennes expériences, qui paroissent d'ailleurs avoir été faites avec autant de soin que d'exactitude.

CHAPITRE IV.

Du mouvement de l'eau qui passe par plusieurs orifices consécutifs.

248. (P. 348.) On lit: « Si on adopte à la face » verticale d'un réservoir entretenu constam- » ment plein, un tuyau horizontal qui soit tra- » versé dans son intérieur, par plusieurs dia- » phrames perpendiculaires à son axe, et percés » chacun d'un orifice beaucoup plus petit que » l'aire du tuyau; connoissant l'aire du tuyau, et » celles des orifices, on demande la relation » qu'il y aura entre la charge entière, et les » vitesses que l'eau prendra, tant dans le tuyau, » qu'à chaque orifice.

Nota. Pour cette solution, M. Dubuat fait abstraction de tout frottement dans le corps du tuyau, s'il en existe, mais il suppose que le mouvement de l'eau à travers un orifice, pour se répandre dans un tuyau plein, est le même que si elle couloit en l'air, comme l'expérience l'a, dit-on, confirmé; ensuite faisant usage de ses principes précédens, il détermine des solutions pour un, deux ou trois orifices, successivement, et même ensuite pour des cas particuliers.

OBSERVATIONS.

Il est incontestable que M. Dubuat emploie beaucoup de sagacité pour exprimer algébriquement les diverses données d'un problème, pour les convertir en équation, et pour après leur résolution, en tirer des formules applicables à divers cas; c'est pourquoi bien loin d'avoir des objections à faire contre ce genre de travail, nous ne pouvons que le louer et engager à étudier cet auteur, pour sentir tout le mérite de son ouvrage; mais notre objet se réduit à l'examen de plusieurs des hypothèses dont il a fait usage, et à présenter à cet égard, notre opinion, fondée sur un grand nombre d'observations géologiques, que nous croyons

conformes à la nature. Cependant comme parmi les divers chapitres qui nous restent à parcourir, il s'en trouve plusieurs sur lesquels n'ayant aucune observation à faire, nous nous bornerons à indiquer en peu de mots les objets qui y sont traités, parce qu'on trouvera dans l'ouvrage même, de quoi se satisfaire pleinement.

CHAPITRE V.

De la pression que l'eau exerce sur les parois des différens lits sur lesquels elle coule.

253. (Page 357.) On lit : « Quand l'eau » coule dans un tuyau uniformement incliné, » avec une charge à la tête, capable d'im- » primer la vitesse moyenne qui convient à » sa pente et à son diamètre, elle n'exerce au- » cune pression contre le point de la paroi, » situé au sommet de son diamètre vertical ; » et cette pression pour les autres points de la » paroi, n'est due qu'à la hauteur de la partie » supérieure dudit tuyau... Voyez fig. 25... » Cette vérité est prouvée d'ailleurs par l'ex- » périence ; si on retranche de ce tuyau toute » la partie semi-cilindrique, située au-dessous » de l'axe, en donnant à l'orifice de la prise

» d'eau, la figure d'un demi-cercle inférieur, » et la même charge sur le centre d'impulsion, » il est évident que la dépense diminuera de » moitié par la diminution de la section, » mais le rayon moyen, la pente et la vi- » tesse moyennes demeureront constantes, et » le demi-cilindre aura le même mouvement » qu'il avoit précédemment, lorsqu'il étoit » chargé de son autre moitié, sans que la » section tende à s'élever.

(Page 359.) Plus loin on lit : « En général, » la hauteur due à la pression, contre un » point de la paroi, est égale à la hauteur due » à la vitesse qui auroit lieu à l'origine du tuyau, » s'il n'occasionnoit aucune résistance, moins » la hauteur due à la vitesse réelle; cette règle » est générale, à quelques modifications près, » relatives à la figure du tuyau.

» Dans le tuyau incliné BC, la pression contre » le point S, est représentée par la hauteur AB, » moins la hauteur due à la vitesse dans le » tuyau, et si cette dernière hauteur est égale à la » premiere, la pression en S, est nulle. Dans le » tuyau H I K L, où le centre de gueule bée » est au-dessous de celui de la prise d'eau, en » tirant la droite H L, la pression au point I » sera égale à A H — I O, moins la hauteur » due à la vitesse; et celle au point K sera

» égale à A H + P K, moins la hauteur due à
» la vitesse. Dans le tuyau D E F G, où la
» gueule bée est plus élevée que la prise d'eau,
» en tirant l'horizontale G R, la pression au
» point E est égale à A R — E M, moins en-
» core la hauteur due à la vitesse dans le tuyau;
» et celle au point F sera égale à A R + F N,
» moins la hauteur due à la même vitesse. »

Nota. L'auteur observe que la connoissance et l'appréciation de la pression contre les parois des tuyaux, a deux objets importans. Le premier est de déterminer la force qu'on doit donner à un tuyau de conduite pour résister à la pression qu'on veut lui faire éprouver, et le second est de déterminer les écoulemens par des ouvertures latérales dont la force motrice est la pression.

294. (Page 361.) On lit: « pour juger de
» l'intensité de la pression, il paroît qu'il n'est
» rien de plus simple que de mesurer l'écoule-
» ment par une ouverture faite à la paroi;
» aussi M. l'abbé Bossut s'est-il servi de ce
» moyen. Un tuyau horizontal de 16 lignes
» de diamètre, qui avoit servi aux autres expé-
» riences, a été percé d'une petite ouverture
» latérale, dont on a mesuré la dépense; le
» bout du tuyau étant d'abord fermé, et en-
» suite ouvert avec des charges et des longueurs

» différentes; le diamètre de l'orifice n'est pas » parfaitement connu, quoiqu'il soit estimé » 3 lignes 1 quart; mais on a vu par expé- » rience, que quand le tuyau étoit bouché, » cet orifice qui étoit placé au niveau de l'axe » du tuyau, donnoit 196 pouces par minute, » sous la charge totale de 12 pouces, et 724 » pouces sous celle de 24 pouces. »

Nota 1°. On trouve à la suite deux tableaux d'expérience avec des hauteurs de réservoirs de 12 et 24 pouces, présentés par M. Dubuat, et tendans à prouver la concordance de ses principes avec les expériences de M. l'abbé Bossut.

Nota 2°. Tout ce qu'on vient de dire sur les effets des diverses pressions, ne nous a paru susceptible d'aucune observation.

CHAPITRE VI.

Des jets d'eau.

M. Dubuat s'occupe, dans ce chapitre, des diverses circonstances qui concourent à l'activité des jets d'eau, pour lesquels il faut avoir égard à la hauteur du réservoir, à la longueur des tuyaux de conduite, à l'ouverture des ajutages, à leur forme et à leur direction. Ensuite,

il détermine la dépense de ces tuyaux de conduite par leur orifice dans un temps donné, en ayant égard, dans tous les cas, à la contraction qui a eu lieu à la sortie du jet, aux divers frottemens et à la résistance de l'air. En conséquence, il a rédigé cinq formules différentes applicables aux différens cas pour l'exécution des jets d'eau, qu'il a désignés par les lettres A B C et D; mais dans lesquels il a eu égard à la vitesse initiale, au frottement dans le tuyau de conduite, et aux autres circonstances susdites. On trouve ensuite deux tableaux d'expériences dressées d'après celles de M. l'abbé Bossut.

Pour le premier tableau.

Numéro des expériences.	Diamètre des ajutages.	Valeurs de K.	Valeurs de X vitesses.	Hauteur des jets suivant la théorie.	Hauteur des jets suivant l'expérience.
Tuyau de conduite de 3 p°. 8 lig: de diamètre.					
	lig.	pouces.	pouces.	pouces	pouces.
1	2	37,5	132,0	125,1	124,5
2	4	21,5	132,0	128,0	127,5
3	8	13,5	131,9	129.4	128,0
4	4	ajutage.	conique.	0	116,5
5	4	cylindrique	132,0	87,1	87,5
Tuyau de conduite de 0, p. lig. 8 de diamètre.					
6	2	37,5	132,0	125,1	119,0
7	4	21,3	129,7	125,9	113,8
8	8	11,2	103,0	101,4	94,0

Nota. On voit par le tableau ci-dessus que les hauteurs de jet calculées d'après les formules C et D, ont donné des hauteurs de jets assez exactement conformes à celles de l'expérience, pour les 1, 2, 3 et 5es. numéros; mais que suivant les 6, 7 et 8es. numéros, les hauteurs des

jets calculées se trouvent beaucoup plus fortes que celles données par l'expérience.

Dans le second tableau qui suit, la troisième colonne exprime les hauteurs dues à la vitesse du jet sans résistance dans le tuyau d'après la formule A ; la quatrième exprime les élévations du jet relativement aux charges précédentes ; la cinquième les hauteurs de jet, d'après l'expérience ; et la sixième, les mêmes hauteurs augmentées du déchet occasionné par les résistances.

Voyez le tableau suivant.

Diamètre des ajutages.	Valeur de K.	Valeur de X sans résistance.	Hauteur du jet suivant la théorie.	Hauteur réelle du jet.	Hauteurs réelles du jet sans résistance.
	pouces.	p°.	p°.	p°.	p°.
1	36, 7	38, 9	37, 1	37, 5	37, 5
2	19, 1	38, 9	37, 8	37, 7	37, 7
3	13, 3	38, 9	38, 2	38, 0	38, 1
4	10, 4	38, 8	38, 3	37, 6	37, 9
5	8, 7	38, 7	38, 3	37, 4	38, 3
6	7, 5	38, 5	38, 2	36, 8	38, 2
7	6, 6	38, 2	37, 9	34, 5	37, 9

273 et 274. (Page 338.) On lit : « *M. Mariote a fait sur les jets d'eau, un assez grand nombre d'expériences ; mais il a souvent omis de faire mention de plusieurs données importantes qu'il croyoit indifférentes.*

Nota. On pense, comme M. Dubuat, que M. Mariote n'a pas donné l'appareil de ses expériences avec assez de détail et de précision.

283. (Page 398.) On lit : « M. Mariote » donne, pour calculer la perte de l'élévation » des jets, une règle que la plupart des hy- » drauliciens ont suivie depuis. Elle consiste à » faire ce déchet proportionnel aux quatrièmes » puissances des vitesses, ou au carré des char- » ges, en prenant pour base qu'un jet de 5 » pieds, perd un pouce de hauteur. Ce prin- » cipe ne peut être vrai, puisqu'on n'a égard ni » au frottement de l'eau dans le tuyau, ni au » diamètre de l'ajutage, ni à la manière dont » il est placé. L'expérience sur laquelle est » fondée cette règle, n'est exacte que dans » quelques combinaisons des différens élémens » négligés : on voit que sans changer le dia- » mètre de la conduite, il suffit de varier celui » de l'ajutage, pour avoir plus ou moins d'un » pouce de pente. Ainsi, toutes les tables qu'on » a dressées, d'après cette règle, sur les pertes » des jets, et différentes hauteurs des réser-

» voirs ne sont d'aucun usage dans la pratique, » puisqu'en les adoptant, il faut supposer qu'on » peut négliger le frottement de l'eau dans la » conduite, ou la hauteur due à la vitesse » qu'elle y prend ».

Nota. Je ne sais si je me fais illusion, mais je ne suis pas convaincu de la justesse des observations de M. Dubuat, contenues dans le numéro 283 précédent; et j'observe, que si M. Mariote avoit fait une expérience unique avec un réservoir de 5 pieds un pouce de hauteur au-dessus de l'orifice, de laquelle il seroit résulté que la hauteur du jet n'ayant monté qu'à 5 pieds, auroit produit exactement un pouce de déchet; et qu'ensuite ce physicien, après avoir observé que le déchet se trouvoit dans cette expérience égal au carré de la charge, fût parti de cette base pour construire une table avec des hauteurs de jet différentes, de 5 en 5 pieds; depuis 5 jusqu'à 100 pieds de hauteur, et qu'il eût ainsi réglé sa table par le calcul, en concluant toujours du petit au grand, on pourroit peut-être lui observer, que pour le premier terme qui ne produit qu'un déchet d'un pouce, il peut paroître indifférent que les causes de résistance qui ont produit ce déchet, soient distinguées, ou qu'on en ait fait abstraction; mais qu'on pourroit craindre que

cela ne tirât à conséquence pour de grandes hauteurs de réservoirs, dont les effets exprimés plus en grand, doivent produire des différences marquantes; mais en consultant l'œuvre de M. Mariote, il m'a paru qu'il n'avoit établi son échelle de déchet qu'après avoir fait un certain nombre d'expériences à des hauteurs différentes, et qu'il en a fait à 5 pieds un pouce, à 24 pieds 5 pouces de hauteur de réservoir; d'autres à 26 pieds un pouce, à 54 pieds onze pouces et à 50 pieds de hauteur. Or, c'est après avoir constaté le déchet effectif dans ces diverses expériences, et avoir remarqué la concordance de la hauteur de ces divers déchets fournis par l'expérience, avec des nombres en même rapport et trouvés proportionnels aux carrés des charges, ou à la quatrième puissance des vitesses, qu'il a adopté la susdite base, et d'après laquelle il a formé sa table. Il présente même des calculs relatifs à plusieurs de ces expériences (1).

Or, j'observe que si l'eau qui coule dans un tuyau de conduite, et qui sort par un ajutage quelconque, n'éprouvoit pendant son mouvement aucun obstacle, elle devroit, en vertu de

(1) Voyez le traité du mouvement de M. Mariote.

sa vitesse acquise, s'élever à la même hauteur que le niveau du réservoir, sans les causes de résistance qui détruisent une partie de sa vitesse; mais ces causes sont évidemment la contraction de la veine fluide, les frottemens contre les bords de l'orifice, et autres, etc.: c'est pourquoi le déchet constaté de chaque expérience, est réellement l'effet qui résulte de ces causes de résistance combinées; et on ne peut donc pas dire, que dans ses opérations M. Mariote ait négligé aucuns des frottemens quels qu'ils soient, comme on l'a énoncé dans le numéro précédent, puisqu'ils sont exprimés dans chaque expérience, par la diminution sur la hauteur à laquelle l'eau auroit dû monter sans ces causes. C'est, sans doute, d'après ces motifs que M. Belidor et autres hydrauliciens ont fait usage de ces tables (1).

---

(1) M. l'abbé Bossut, 2e. partie de l'hydrodinamique, chap. V, page 97, 3e. expérience, trouve qu'une hauteur verticale de 11 pieds, avec un ajutage de 8 lig., donne une hauteur de jet vertical de 10 pieds 6 pouces 6 lig., ou en inclinant un peu l'ajutage de 10 pieds 8e.; dans les deux cas, les déchets sont de 5 pouces 6 lig. et de 4 pouces. Or ils devroient être d'environ 5 pouces, suivant M. Mariote, ce qui diffère très-peu.

Au surplus, M. Mariote a senti comme les autres physiciens, qu'il falloit que chaque tuyau de conduite eût assez de grosseur pour fournir amplement à la dépense du jet, et pour que la vitesse ne fût pas retardée à la sortie de l'orifice; et qu'en outre, relativement au diamètre de chaque tuyau de conduite, il se trouvoit une ouverture d'ajutage convenable et plus avantageux, qui doit procurer la plus grande hauteur au jet vertical. Enfin, il paroît que M. Mariote a varié successivement ses expériences avec des ajutages de 3, 4, 6, 7, 10 à 15 lignes d'ouverture. Mais il eût été à désirer qu'il les eût encore plus multipliées, et qu'ensuite il eût donné toutes les formes et dimensions des appareils qu'il auroit employés, et les précautions d'exécution.

CHAPITRE VII.

Du mouvement de l'eau dans les conduites composées de tuyaux de différens diamètres.

(Page 404.) Ce chapitre a pour objet l'établissement des bassins et tuyaux pour la distribution des eaux dans une grande ville. Les premiers tuyaux qui reçoivent l'eau directe-

ment du bassin principal, sont de forts tuyaux composés de plusieurs pièces assemblées bout à bout, auxquels on fait prendre diverses directions suivant le besoin; et c'est sur ces troncs principaux que l'on branche d'autres tuyaux secondaires, avec des destinations différentes. Pour déterminer la vitesse que l'eau doit prendre dans chacun de ces tuyaux, M. Dubuat fait usage des formules indiquées dans le 4e. chapitre. Il donne des dénominations à la hauteur entière du réservoir qu'il désigne par H, de même qu'à la hauteur due à la vitesse dans le petit tuyau qu'il nomme X, et en vertu d'une équation qu'il faut lire dans l'ouvrage, il détermine la valeur de X.

Il fait ensuite diverses suppositions, l'une pour les cas où le petit tuyau devenant fort court, pourroit être considéré comme un tuyau additionnel; la seconde, lorsque deux tuyaux au lieu d'être perpendiculaires l'un à l'autre, étant prolongés sur le même axe, il s'agit d'estimer les hauteurs dues à la vitesse et à la résistance des gros tuyaux; la troisième simplifie l'expression, en supposant que le petit diamètre du tuyau devient égal à celui du gros, ce qui détruit toute contraction au passage d'un tuyau à l'autre.

291. (Page 409.) M. Dubuat observe, « qu'en

réfléchissant sur les principes précédens, pour en méditer l'application, on parviendra à combiner un assemblage de tuyaux de la manière la plus avantageuse, et aux moindres frais possibles ».

Il observe encore, « qu'il est cependant resté une sorte d'incertitude sur l'espèce de contraction qui a eu lieu au passage d'un tuyau à un autre, qu'on a supposé qu'elle étoit la même que celle d'un tuyau additionnel, adapté à un grand réservoir, où la vitesse diminuera dans le rapport de $\sqrt{724}$ à $\sqrt{728}$;..... qu'au reste, il n'y a point de formule qui puisse servir à apprécier cette perte de mouvement dans tous les cas ».

PROBLÈME.

293. (Page 410) On lit : « la quantité que » peut fournir un réservoir étant donnée; on » veut la diviser et la distribuer en plusieurs » points, suivant un certain rapport déter- » miné, par le moyen d'un tuyau nourricier » et de plusieurs autres tuyaux d'un moindre » diamètre, adaptés perpendiculairement au » premier. On connoît la position et la diffé- » rence de niveau, des différens points entre » eux et avec le réservoir; et on demande de

» fixer les diamètres de tous ces tuyaux, dans » la vue de remplir l'objet avec le plus d'éco- » nomie ».

Nota. M. Dubuat nous paroît penser, avec raison, que ce problème n'est pas susceptible d'une résolution exacte et rigoureuse.

Cependant la nécessité exige souvent que l'on prenne, en pareille circonstance, le parti qui paroît le plus convenable, pour opérer une distribution d'eau aussi exacte dans l'exécution qu'il est possible, en faisant usage des bases et des principes connus.

Lorsque l'on a, par exemple, 80 à 100 tuyaux de conduite à alimenter à une source principale qui doivent fournir des quantités déterminées, et les porter à des profondeurs et des distances différentes, il seroit illusoire de se borner à chercher quelle seroit la vitesse que l'eau devroit avoir dans chacun de ces tuyaux de conduite à leur sortie, quoiqu'il soit bien certain que l'eau doit arriver avec plus de vitesse dans les points les plus bas. Néanmoins ce moyen très-compliqué seroit sujet à erreur dans l'exécution; mais on va indiquer une distribution d'eau assez conforme à ce qui se pratique en pareil cas.

On partage au principal réservoir le produit de la source mère en deux masses d'eau:

la première portion comprend la somme des quotités à distribuer journellement aux particuliers ou propriétaires qui en doivent jouir, en vertu des titres, concessions ou conventions quelconques. Cette première masse doit être constante et invariable; la seconde masse est destinée à alimenter les fontaines publiques et autres objets de service. Or, si la source mère est susceptible de diminution et d'accroissement dans des temps différens, c'est sur cette seconde partie que doivent influer les changemens accidentels.

1°. On supposera les deux bassins de distribution placés à côté du réservoir principal: le premier doit être entretenu constamment à un niveau fixe et invariable, de façon que l'eau qui excéderoit son niveau puisse tomber dans le deuxième bassin joignant, dont le niveau doit être un peu plus bas. Le premier bassin de distribution a une forme circulaire, dont une partie tronquée par une corde, se raccorde avec une autre portion carrée. Or, c'est dans la partie rectangulaire que le bouillon est reçu, et dans le pourtour circulaire de la deuxième partie on distribue un grand nombre d'orifices circulaires verticaux de 3, 6, 9, 10 et 12 lignes de diamètre et dont tous les centres sont posés sur une ligne horizontale, qui est

fixée à sept lignes au-dessous du niveau de l'eau de ce bassin ; par ce moyen on voit que l'orifice circulaire de 12 lignes de diamètre doit donner par minute un pouce de fontainier contenant, suivant M. Mariote, quatorze pintes ; (1) qu'un orifice de 6 lignes de diamètre donnera un quart de pouce et les autres à proportion, c'est-à-dire que les produits des orifices seront en raison du carré de leur diamètre, les vitesses étant les mêmes. Ensuite les produits sont versés dans des tuyaux de conduite d'une grosseur suffisante, qui sont adaptés à la surface extérieure du bassin.

On pensera, sans doute, que le diamètre de ces divers orifices doit être réglé dans la proportion des droits des différens concessionnaires qui doivent tirer leurs eaux de ce bassin.

S'il se trouvoit des concessions particulières qui fussent de plus d'un pouce ; dans ce cas, il conviendroit dans une autre partie de la

---

(1) Le pouce de fontainier contient, suivant M. Mariote, 14 pintes de chacune 48 pouces cubes, ou, suivant M. Couplet, 13 pintes 1 tiers, ou 640 pouces ; ou, suivant M. l'abbé Bossut, d'après ses expériences, 628 pouces cubes, faisant 12 litres 1 quart, à raison de 50 pouces 41 chaque litre.

circonférence du même bassin, établi sur une seconde ligne de niveau inférieure à la première et qui seroit posée à 28 lignes au-dessous du niveau de l'eau, et ensuite on placera une suite de nouveaux orifices circulaires verticaux qui ayant tous leur centre sur cette ligne évacueroient avec une vitesse double, par des orifices qui pourroient avoir un, deux et trois pouces de diamètre et dont les dépenses produiroient deux, huit et dix-huit pouces de fontainier par minute.

Quant au second bassin, il est destiné à alimenter de plus gros tuyaux, dont les orifices qui y versent leurs eaux, sont proportionnés et en état de fournir des dépenses relatives à leurs diverses destinations. Les centres de ces orifices verticaux sont également placés sur une même ligne de niveau fixée eu égard à la charge ordinaire des eaux, mais cette charge peut être variable suivant les différens temps de l'année où la source mère fournit plus ou moins d'eau.

J'ajouterai que pour tous les tuyaux de ces deux bassins on place extérieurement un robinet à peu de distance de la prise d'eau, afin de pouvoir suspendre à volonté l'écoulement, lorsque les tuyaux de conduite ont besoin de quelques réparations.

On vient d'indiquer ce qui se pratique pour une distribution nouvelle; mais s'il s'agissoit de reconnoître si les concessionnaires reçoivent une quantité d'eau conforme à leur titre, il y a divers moyens de s'en assurer : par exemple, pour les gros tuyaux qui dépensent plusieurs pouces d'eau de fontainier par minute, on peut faire usage d'un étalon un peu fort et dont la capacité exprimée en pouces cubes est exactement connue. On mesure combien il faut de temps, pour que le tuyau remplisse cet étalon, et on détermine ainsi combien cette conduite donne de pouces cubes par minute, ou par seconde, moyennant quoi cette quantité peut être réduite en pintes, en litres, ou en pouces de fontainier. Enfin, si l'on vouloit connoître la vitesse des eaux dans ces tuyaux de conduite, en divisant le produit par seconde de cet écoulement exprimé en pouces cubes, par la surface effective de la veine fluide à la sortie du tuyau, on auroit la vitesse de l'eau dans le tuyau, exprimée en pouces par seconde.

Mais s'il s'agissoit de vérifier les concessions des particuliers qui ne jouissent que d'environ un pouce de fontainier par minute, et au-dessous; on fait alors usage d'une cuvette en cuivre, servant de jauge, qui a à peu près la forme d'un demi-cercle de 15 à 18 pouces

de diamètre à fond plat et à bord droit. Autour des bords de cette cuvette sont pratiqués des orifices verticaux de différens diamètres, depuis une ligne jusqu'à douze, dont tous les centres sont tous posés sur une ligne parallèle à la base. On trouve en outre une seconde ligne tracée intérieurement à sept lignes au-dessus du centre des orifices; on garnit ensuite ces orifices de bouchons de liège, mobiles à volonté, puis on reçoit dans la cuvette, ou jauge, le produit du tuyau qu'on se propose de jauger, et lorsque l'eau de la cuvette tenue de niveau, s'élève à environ sept lignes au-dessus du centre des orifices, on essaye d'en déboucher plusieurs successivement, jusqu'à ce que la dépense étant égale à la recette, l'eau se tienne en équilibre à 7 lignes au-dessus du centre, sans hausser ni baisser. Alors les orifices ouverts font connoître le nombre de pouces ou fractions de pouces, qui exprime le produit dudit tuyau.

Il faut à peine un demi-quart-d'heure pour l'exécution d'une de ces opérations; j'ai jaugé de cette façon toutes les concessions particulières d'une ville assez importante, qui a beaucoup de fontaines.

Le détail de ces pratiques m'a un peu écarté du texte de l'auteur; mais quoiqu'elles n'apprennent rien de neuf, elles peuvent néanmoins

intéresser beaucoup de personnes qui ne les connoissent pas.

CHAPITRE VIII.

Du mouvement de l'eau dans les pompes.

295 et 296. (Page 412.) *Nota.* On considère dans ces numéros, le jeu de la pompe aspirante.

On remarque particulièrement que la force nécessaire pour maintenir le piston en équilibre, lorsque la soupape supérieure est fermée, et celle du bas ouverte, est égale en général, au poids d'une colonne d'eau qui auroit pour base l'aire du piston, et pour hauteur, celle à laquelle l'eau est élevée au-dessus de la superficie du réservoir, laquelle hauteur ne peut jamais excéder 32 pieds, qui égale le poids de l'atmosphère, et où l'aspiration cesse d'avoir lieu.

Mais on a fait abstraction d'une force supplémentaire, qui est nécessaire pour vaincre le frottement du piston, dans le corps de pompe, celui de la contraction au passage de l'orifice de la soupape dans le corps de pompe, ainsi que du poids et de sa tige.

Ces résultats indiquent la théorie ordinaire des pompes aspirantes.

Cependant il faut observer que l'indication des calculs précédens, supposant le cas d'équilibre, c'est pourquoi, pour faire mouvoir une pompe suivant une vitesse donnée, il faut un excédent de force au-dessus de ce qui étoit nécessaire pour le premier effet, et cette force peut être supposée égale à une charge d'eau capable d'imprimer cette vitesse, en surmontant les obstacles que présente l'entrée du corps de pompe au passage de l'orifice de la soupape.

Or, M. Dubuat observe *que cette charge ou augmentation de force, est exactement égale à celle qui seroit nécessaire pour faire mouvoir l'eau dans le corps de pompe, s'il étoit situé horizontalement;* ensuite, d'après les formules du chapitre 4, il détermine la force qui fait agir le piston.

Nota. Il faut lire dans l'auteur les résultats et les diverses applications qu'il fait de cette théorie.

N°. 317. Dans ce numéro, l'auteur fait une application de ses formules, mais il observe que les circonstances ne lui ayant pas permis de faire des expériences dans ce genre, il a cru devoir citer celles de M. le Chevalier de Borda, sur des pompes de différentes espèces;

en conséquence il propose le problème suivant.

PROBLÈME.

318. (Page 434.) On lit : *déterminer le mouvement d'un piston qui se meut par son propre poids, dans un corps de pompe vertical, rempli d'eau, quand on connoît la masse, son poids dans l'eau, son diamètre et celui de la soupape.*

M. Dubuat cite à ce sujet une expérience de M. de Borda, dans laquelle il a fait usage d'une pompe, employée au service des vaisseaux, dont le diamètre intérieur étoit de 6 pouces, et celui de la soupape, fixe de 3,50 pouces, ce qui donne le rapport des aires, de 3 à 1, mais ayant égard à la contraction, il réduit ce rapport dans la proportion de 6 à 1, ce qui suppose le véritable orifice du piston, à trois pouces de diamètre. C'est avec cette pompe qu'il fait son expérience, en faisant usage d'un piston chargé, qui pesoit, dans l'eau, 41 livres, ou 77 dans l'air. Or, il a éprouvé que ce piston abandonné à son propre poids, parcouroit 4 pieds en 6 secondes; mais en fixant des dénominations à toutes ces données, on ne trouve cependant suivant le calcul, que 3,385 pieds, au lieu de 4 pieds.

Mais M. Dubuat pense que M. de Borda a estimé la contraction un peu forte ; c'est pourquoi, en réduisant ce rapport, il trouve par un nouveau calcul, un résultat par lequel $e = 4{,}079$ pieds.

319, 320 et 321. (Page 437.) M. Dubuat fait une application de la même théorie, à la pompe à feu des mines de Montrelais, près Ingrande, qui élève l'eau de 612 pieds, avec 10 répétitions de pompes aspirantes, d'environ 61 pieds de hauteur chacune; il paroît que le cilindre de cette machine, a un diamètre de 52 pouces 6 lignes; les pompes ont chacune 8 pouces 6 lignes de diamètre, et l'aire de chaque piston est à l'aire de la soupape, comme 4 à 1, mais M. de Borda eu égard à la contraction, l'estime de 6 à 1. Quant au rapport de cette aire, avec celle des soupapes fixes, il l'établit de 5 à 1, eu égard aux contractions.

Le jeu du piston est de 6 pieds 3 pouces, et la machine donne neuf coups de piston par minute, moyennant quoi chaque vibration dure $6'' \frac{2}{3}$, et comme il se fait un repos d'une demi-seconde entre l'aller et le venir, pour monter ou pour descendre, il faut réduire à $5'' \frac{2}{3}$, le temps de chaque vibration, on a $2'' \frac{5}{6}$, les demi-vibrations.

M. Dubuat ajoute que le poids des attirails des pompes équivaut à 6000 livres, déduction faite d'une portion soutenue par les contre-poids; le poids du piston est évalué à 4000 livres; l'aire des pistons est de 0,39406 pieds, qui, multipliés par 612 pieds, et par 70 livres, pour la densité de l'eau, donnent 16,880 livres, pour le poids de l'eau qu'ils soulèvent.

D'après ces données, et d'après leur dénomination, et après plusieurs calculs, il trouve que la force nécessaire pour mouvoir les pistons des pompes, en commençant par leur descente, est de 1775 livres, ou 1850, en y ajoutant 75 livres, pour donner le mouvement à la machine, au-dessus de l'équilibre, au lieu que suivant l'expérience, le moteur paroît être de 6000 livres.

Nota. Cette différence entre la théorie et l'expérience paroît énorme.

323. (Page 442.) On lit : *les différences que nous venons de remarquer dans l'excès d'équilibre, suivant la théorie, et suivant les résultats apparens de l'expérience; soit que les pistons montent, soit quand ils descendent, prouvent que les effets de la machine à feu, ne sont pas aussi connus qu'on se l'imagine.*

Nota. Les numéros suivans contiennent des observations intéressantes, qu'il convient

lire dans l'ouvrage, et auxquelles nous n'avons rien à ajouter.

DERNIÈRE OBSERVATION.

Nous venons de parcourir tous les paragraphes du premier volume, de l'œuvre de M. Dubuat, sur l'hydraulique, et nous avons exposé notre opinion, sur la plus grande partie des hypothèses sur lesquelles sont établis ses calculs et ses conséquences; ses hypothèses ne nous ont point paru conformes aux phénomènes de la nature; nous avons opposé aux suppositions de l'auteur, des explications physiques et géologiques, fondées sur une suite d'observations locales que nous avons eu occasion de faire sur le cours des rivières et ruisseaux; mais on nous a opposé que la vraisemblance de nos explications étoit combattue par un grand nombre d'expériences contenues dans le deuxième volume de M. Dubuat, qui paroissent confirmer les diverses propositions de sa théorie, ainsi que les problèmes qui en sont la suite; c'est pourquoi avant de présenter un résumé général de notre travail, nous avons cru nécessaire, de faire un examen attentif de toutes les expériences comprises dans le deuxième volume de l'œuvre de M. Dubuat,

ou au moins celui des 142 premières pages qui comprennent tout ce qui concerne les rivières et canaux.

Nota. On a cru nécessaire d'indiquer et de décrire les principales expériences dont M. Dubuat a fait usage pour sa théorie sur le mouvement de l'eau dans les rivières et canaux. Il y en a plusieurs sur lesquelles on a gardé le silence, sans les approuver en tous points, ni sans dessein de vouloir leur rien opposer. Il y en a aussi quelques-unes qui ont donné lieu à des observations que l'on soumet au lecteur, pour les apprécier. Mais on s'est permis fréquemment de copier le texte pour donner au lecteur une idée exacte desdites expériences. Le travail suivant est disposé pour pouvoir être entendu de ceux qui n'auroient pas l'ouvrage de M. Dubuat, et pour que ceux qui l'auront puissent s'assurer de la fidélité des extraits.

Fin de l'examen du premier volume.

DEUXIÈME VOLUME

DE M. DUBUAT,

SUR

LES PRINCIPES

DE L'HYDRAULIQUE,

Contenant les expériences qui leur servent de base. — Édition de 1786.

SECTION PREMIÈRE.

Expériences sur le mouvement de l'eau dans des tuyaux, les canaux et les rivières.

CHAPITRE Ier.

Sur les dépenses et la vitesse de l'eau et des différentes liqueurs, dans des tuyaux d'un petit diamètre.

334. (Page 1.) L'auteur observe que les expériences exécutées dans des tuyaux d'un petit diamètre sont d'une exécution très-facile,

et qu'il en a fait d'intéressantes en ce genre, dans l'été de 1782.

Objet de ces expériences.

N°. 335. 1°. Pour trouver la généralité de la loi du mouvement dans les grandes pentes et dans les plus petites sections.

2°. Pour donner une idée de la fluidité des différens liquides.

3°. Pour connoître d'une manière directe le mouvement de l'eau dans des tuyaux d'un petit diamètre, tels qu'on peut avoir occasion d'en employer pour dériver d'une conduite nourricière, différens filets d'eau à l'usage des particuliers.

Préparation aux expériences.

N°. 336. *Détail donné par extrait.* Le réservoir entretenu plein étoit un tuyau de fer blanc d'un peu plus de deux pouces de diamètre et 14 lignes de hauteur. Son fond étoit établi sur une feuille de fer blanc de 4 pouces en carré, au pourtour de laquelle étoit soudé un bord de la même hauteur que le tuyau. Du fond du réservoir sortoit un tuyau additionnel, vertical ou incliné, de cinq lignes de diamètre, destiné à recevoir les tuyaux de verre

verticaux ou inclinés. A six lignes de hauteur au-dessus du même réservoir étoit placé un autre tuyau additionnel, de même diamètre et de seize lignes de longueur, qui étoit soudé à la paroi du réservoir, et en même temps au bord du bassin carré qui l'entouroit et qui sortoit de 5 lignes en dehors.

Celui-ci devoit recevoir les tuyaux de verre horizontaux. On garnissoit d'étoupe le bout de ces tuyaux et on l'introduisoit dans les tuyaux additionnels, ensorte que l'orifice du tuyau de verre répondoit très-juste ou à la paroi, ou au plan du fond du réservoir.

.....

La jauge dans laquelle on recevoit l'eau ou les autres liqueurs, fournies par les tuyaux pendant une minute, étoit une boîte cylindrique de 13 pouces de hauteur et de 2,9443 pouces de diamètre.

RÉSULTAT DES EXPÉRIENCES.

Tableau d'expériences, page 6, 7, 8 *et* 9.

Expériences faites successivement avec des tuyaux de 2 lignes 9, de 2 lignes et de 1 ligne 5, sur 25, 34 et 36 pouces de longueur; les unes avec de l'eau, et les autres avec des li-

quides d'une autre nature et à différentes températures.

Nota. Cette table et ses résultats, qu'il faut comparer, méritent une attention réfléchie.

338. (Page 10.) On lit : « il suit de la comparaison des expériences faites sur les tuyaux d'un petit diamètre, que le carré des vitesses croît en plus grand rapport que les pentes; et que quand les pentes sont égales, les vitesses croissent comme les racines carrées des rayons moyens.

N°. 339. On lit : « quand nous avons em-
» ployé le tuyau vertical de 2 lignes 9 de dia-
» mètre, la charge qui répondoit à une vitesse
» uniforme étoit d'environ 14 pouces 35 et la
» vitesse correspondante étoit de 82 pouces 829.
» ..... Ainsi, dans ces cas, comme
» dans tous les autres, lorsque le mouvement de
» l'eau dans un lit quelconque, est parvenu à
» une uniformité parfaite, la somme de toutes
» les résistances qu'éprouve la veine fluide, est
» égale à la masse du même fluide, multipliée
» par la pente du lit; et l'on doit entendre que
» cette somme de résistance comprend l'attrac-
» tion des parois, le frottement et toute autre
» résistance, s'il en existe.

» De même la charge qui répondoit à la
» vitesse uniforme dans le tuyau vertical de

» deux lignes, étoit d'environ 6,938 pouces et » la vitesse étoit de 59,13 pouces.

» Enfin la charge qui répondoit à la vitesse » uniforme dans le tuyau vertical d'une ligne » $\frac{1}{2}$, étoit d'environ 3,981 pouces, et la vi- » tesse étoit de 43,63. Les expériences 19, 27, » 37, approchent beaucoup de ces trois résul- » tats qu'il eût été fort difficile de procurer avec » des tuyaux d'un pouce seulement de dia- » mètre; car on peut voir, en appliquant à » un tuyau vertical d'un pouce de diamètre » la formule du mouvement uniforme, que » la vitesse qui lui convient est de 248 pouces » par seconde, avec une charge de près de 7 » pieds un pouce.

» Quand on augmente les charges, et par » conséquent les vitesses, dans des tuyaux ver- » ticaux, comme dans les expériences 20, 29 » et 38, les résistances deviennent plus grandes » que le poids des colonnes d'eau contenues » dans ces tuyaux ».

340. (Page 12.) On lit : « on ne trouve dans » les auteurs qu'une seule expérience sur des » tuyaux d'un petit diamètre, c'est dans le » traité du mouvement des eaux de M. Ma- » riote, 3e. partie, 2e. discours; mais M. Du- » buat a observé qu'elle n'avoit pas la préci-

» sion desirable. Voyez dans l'auteur les expé-
» riences comparées »

342. On lit : « on voit par les autres expé-
» riences du tableau précédent que l'eau se
» meut d'autant moins vite, qu'elle approche
» davantage du terme de la congellation; et
» qu'au contraire elle coule plus vite à mesure
» qu'elle s'en éloigne, etc.....

CHAPITRE II.

Sur la vitesse moyenne de l'eau dans des tuyaux de conduite, dont l'extrémité verse en l'air, ou sous la surface d'un bassin constamment plein.

N°. 343. On lit : « les expériences suivantes
» ont été faites avec un tuyau d'un pouce de
» diamètre; et en cela elles tiennent le milieu
» entre celles du chapitre précédent et celles
» que M. l'abbé Bossut a faite avec des tuyaux
» de 16 lignes et de deux pouces de diamètre;
» ainsi elles servent à compléter le tableau du
» mouvement de l'eau dans des lits de gran-
« deur variée; mais nous avons eu, en les fai-
» sant, plusieurs objets en vue ».

Objet des expériences.

N°. 344. *Nota.* L'auteur ayant projeté plusieurs expériences sur la résistance que les coudes des tuyaux opposent au mouvement de l'eau, a dû disposer des appareils exprès, pour être en état de comparer des expériences faites dans des tuyaux droits, avec d'autres dans des tuyaux coudés, et surtout des expériences sur les grandes et petites pentes des tuyaux; car on a remarqué que la plus grande pente que M. Bossut a essayée n'est que de $\frac{1}{19}$ et la plus petite $\frac{1}{185}$. Mais pour s'assurer si la même loi s'observoit constamment entre les limites, M. Dubuat a essayé diverses pentes depuis $\frac{1}{6}$ jusqu'à $\frac{1}{5000}$ avec des tuyaux d'un p°. de diamètre, il en a commencé même avec un tuyau de deux pouces, mais elles n'ont pas été finies.

N°. 345. Pour toutes ces expériences, il a fallu changer l'équipage de M. l'abbé Bossut, parce qu'en se contentant, comme lui, de faire couler en l'air les tuyaux soumis à l'expérience, il eût fallu, dit M. Dubuat, leur donner une longueur trop considérable pour se procurer une pente un peu petite, sans pouvoir se pro-

mettre qu'ils coulassent toujours pleins ; d'ailleurs il étoit bon de s'assurer si la dépense d'un tuyau est la même, soit qu'il verse l'eau en l'air à sa sortie, soit qu'il aboutisse à un bassin dont l'eau baigne son orifice inférieur.

Préparation aux expériences.

346. (P. 17.) Il faut un réservoir qui soit entretenu plein, et un bassin dans lequel doit aboutir le tuyau qui tirera son eau du réservoir.

On lit : « le réservoir étoit une caisse rectangulaire de 17 pouces de largeur, autant de hauteur, sur environ 9 pieds de longueur, faite avec madriers ; l'un de ses bouts étoit fermé, et on avoit adapté à l'autre un coffre vertical de 4 pieds de hauteur, qui communiquoit librement avec le réservoir. C'est dans une des faces verticales de ce coffre, qu'étoient assujétis des tuyaux additionnels de 1, 2 et 3 pouces de diamètre, sur quatre pouces de longueur..... Le haut d'une des faces étoit entaillé pour recevoir le bout du réservoir : le tout assujéti bien de niveau en tout sens, et placé au bord d'un fossé de la fortification qui étoit plein d'eau ».

« A deux pieds de distance de l'extrémité » du réservoir opposé au coffre, étoit placée

» une vanne mobile à coulisse, pour la haus-
» ser ou baisser à volonté.

» C'est dans cette partie du réservoir que
» se rendoit et tomboit l'eau élevée par des
» pompes qui trempoient dans l'eau du fossé
» voisin; de là elle passoit dans la partie sui-
» vante du réservoir par dessous la vanne
» qu'on tenoit élevée de 2 à 3 pouces ; elle
» perdoit, par ce moyen, le mouvement de
» bouillonnement produit à la sortie de la
» pompe..... On avoit tendu dans la se-
» conde partie du réservoir une étamine pour
» arrêter les feuilles, roseaux, ou autres corps
» étrangers..... Enfin la dernière partie du
» réservoir étoit formée par le haut du coffre,
» dont le dessus des madriers s'assuroit avec
» ceux des bords du réservoir. »

Les tuyaux additionnels fixés dans la paroi du coffre et dont le bout effleuroit sa surface intérieure, s'emboitoient avec les tuyaux de conduite à la suite : ils étoient de fer blanc, bien étanchés et étoient soutenus de 6 en 6 pieds, par une file de piquets plantés de niveau sur leur longueur, ou sur une pente réglée suivant les cas, etc.

« Le bassin où aboutissoient les tuyaux, étoit
» une caisse de bois ouverte par en haut, et dou-
» blée intérieurement de fer blanc... La lon-

» gueur de ce bassin étoit de 3 pieds, sa lar-
» geur d'un pied, et sa profondeur de 9 pouces;
» à l'un de ses bouts étoient adaptés et soudés
» trois tuyaux additionnels, dont les diamètres
» étoient de 1, 2 et 3 pouces et dans l'un des-
» quels s'emboitoit le tuyau de conduite sur
» lequel on opéroit, les deux autres étoient
» bouchés avec des tampons de liège, pour
» servir à leur tour. Le madrier, à travers lequel
» passoient ces tuyaux additionnels, s'élevoit
» plus que les trois autres faces de la caisse....
» Enfin, au milieu d'une des longues faces du
» bassin, et près du fond, on avoit soudé
» avec la doublure de fer blanc, un tuyau de
» 2 pouces de diamètre, et de 5 pouces de lon-
» gueur, qui se fermoit extérieurement avec
» un bouchon de liège, et qui n'étoit ouvert
» que dans les expériences où l'on faisoit couler
» en l'air l'eau de la conduite.... Nous avions
» deux jauges d'un pied carré de base, et de
» 3 pieds de hauteur, doublées aussi en fer
» blanc, et dont on avoit mesuré exactement
» la capacité. »

Le même appareil a servi pour les tuyaux droits et coudés.

347. (Page 20.) On lit : « Le bassin ne
» devoit servir ordinairement que pour les ex-
» périences où la pente étoit petite, car pour

» les autres, on recevoit immédiatement l'eau » de la jauge, à la sortie du tuyau de con- » duite.....

» L'opération la plus délicate étoit de s'as- » surer exactement de la charge d'eau des » tuyaux dans chaque expérience... »

La comparaison du niveau de l'eau du réservoir, et du niveau du bassin, donnoit la pente exacte qu'il y avoit de l'un à l'autre; cette pente étoit la mesure de la charge du tuyau, parce que pendant la durée d'une expérience, les pompes devoient nourrir l'eau du réservoir, de façon à l'entretenir parfaitement plein, et le tuyau de conduite nourrissoit pareillement l'eau du bassin.

348. (Page 22.) Tableau d'expériences sur les dépenses d'un tuyau droit d'un pouce de diamètre, à différentes longueurs et à différentes charges.

Numéros des expériences.	Tuyau coulant à 4,56 p°. sous l'eau ou en l'air.	Charges du tuyau exprimée en pouces.	Dépense par minute exprimée en pouces.	Vitesses moyennes par seconde en pouces.	Hauteur due à la vitesse d'expérience
			p°. l.	p°.	
62	sous l'eau.	0, 15	74, 9	1, 589	0, 005
63	sous l'eau.	0, 50	170, 79	3, 623	0, 027
64	sous l'eau.	4, 20	492, 02	10, 436	0, 2278
65	sous l'eau.	5, 93	627, 48	13, 315	0, 37
66	sous l'eau.	7, 38	712, 14	15, 112	0, 477
67	en l'air.	8, 96	767, 39	16, 284	0, 55
68	sous l'eau.	8, 96	783, 43	16, 625	0, 58
69	en l'air.	12, 32	942, 05	19, 991	0, 83
70	en l'air.	13, 70	988, 21	20, 970	0, 92
71	en l'air.	14, 60	1029, 95	21, 856	1, 00
72	sous l'eau.	23, 70	1351, 0	28, 669	1, 76

Numéros des expériences.	Tuyau coulant à 4,56 p°. sous l'eau ou dans l'air.	Charge du tuyau exprimée en pouces.	Dépense par minute exprimée en pouces cubes.	Vitessse moyenne par seconde exprimée en pouces.	Hauteur de la charge due à la vitesse d'expérience
			Longueur du tuyau, 138 pouces.		
		pouces.			
73	sous l'eau.	0, 70	409, 39	8, 689	0, 158
74	sous l'eau.	6, 00	1382, 68	29, 341	1, 80
75	sous l'eau.	20, 95	2771, 28	58, 808	7, 23
			Longueur du tuyaû, 117 pouces.		
76	en l'air.	18, 00	2747, 0	58, 310	7, 144
77	en l'air.	26 $\frac{2}{3}$	3360, 0	71, 301	10, 62
78	en l'air.	36, 0	4002, 93	84, 945	15, 095
			Longueur du tuyau de 24 pouces; le régime irrégulier.		
79	en l'air.	9, 00	2893, 1	59, 247	
80	en l'air.	10, 00	4000, 0	84, 848	
81	en l'air.	27, 00	5017, 08	106, 453	
82	en l'air.	36, 25	5779, 2	122, 59	
			Longueur du tuyau de 4 pouces.		
83	en l'air.	27, 083	5594, 46	118, 67	
			Tuyau de deux pouces de diamètre.		
			Longueur 255 p°. 25		
84	en l'air.	16 $\frac{1}{3}$	11073, 0	58, 72	
85	en l'air	36, 35	16275, 2	86, 308	

RÉFLEXIONS

Sur les expériences précédentes, et en général sur celles des tuyaux de conduite ordinaires.

N°. 349. M. Dubuat observe 1°. qu'il a mis l'attention la plus scrupuleuse pour déterminer exactement la charge dans les diverses expériences.

2°. Il lui a semblé que la vitesse d'écoulement dans l'air, ou sous l'eau, étoit à peu près la même, il cite en preuve les expériences 67 et 68, qui ont lieu avec des charges égales de 8,96 pouces, et dont la première, en s'écoulant dans l'air, a fourni une dépense de 767 pouces, et l'autre sous l'eau, une dépense de 783 pouces; de même l'expérience 76 ayant 18 pouces de charge, et son écoulement dans l'air, a produit 2747 pouces, et l'expérience 75 ayant 20,95 pouces de charge, a produit sous l'eau une dépense de 2771.

Nota. En se bornant à ces deux comparaisons, on pourroit considérer les écoulemens comme à peu près égaux dans l'air, ou sous l'eau. Il faut néanmoins observer que la sortie sous l'eau ne s'effectuoit qu'à une profondeur de 4 pouces $\frac{1}{2}$. Au surplus, dans ce même tableau, en comparant ensemble plusieurs autres

expériences qui avoient des charges à peu près égales, on a remarqué des différences assez fortes, qui ont paru difficiles à expliquer.

Par exemple, si on compare les expériences 65 et 74 qui s'opèrent avec des charges à peu près égales de 5,93 pouces, et de 6 pouces, ayant leur écoulement sous l'eau, on trouve que les dépenses sont l'une de 627 pouces, et l'autre de 1382 pouces, c'est-à-dire qu'au lieu d'être à peu près égales, la dernière est plus du double de la première.

Si ensuite on compare les expériences 68 et 79, ayant des charges presque égales, la première de 8,96 pouces, avec un écoulement sous l'eau, et la seconde de 9 pouces, avec un écoulement dans l'air, or, on trouve que les dépenses sont dans le premier cas, de 785,45 pouces, et dans le second, de 2893, c'est-à-dire presque le quadruple de la première.

Si on compare la 72e. sous l'eau, ayant une charge de 23,70 pouces, avec la 76e. dans l'air, ayant une charge de 18 pouces, cette dernière, avec une moindre charge, produit une dépense de 2747 pouces, qui est plus du double de 1351 pouces, produit de la 72e.; de même en comparant le 76e. et la 80e., toutes les deux dans l'air, et avec des charges égales, de 18 pouces, on voit que 1°. la première

fournit une dépense de 2747 pouces, et l'autre une dépense de 4000 pouces; enfin comparant ensemble la 81e. et la 83e. expériences, toutes les deux dans l'air, avec des charges, l'une de 27 pouces, et l'autre de 27,08 pouces, la première offre une dépense de 5017 pouces, et l'autre de 5594, différence trop forte pour des charges à peu près égales.

Nota. On ne parle pas des vitesses diverses, parce qu'elles sont calculées d'après la section de l'orifice, et la dépense d'expertise.

On voit que sur 24 expériences que contient le tableau précédent, celles qu'il a été possible de comparer, offrent des dépenses qui ne sont point proportionnées à l'effet que les charges devoient produire, et cela est fâcheux pour le secours que la théorie en devoit espérer.

N°. 350. M. Dubuat pense qu'il est nécessaire pour le succès des expériences, que les tuyaux coulent, et il rappelle que M. l'abbé Bossut a trouvé qu'un tuyau horizontal de 16 lignes de diamètre, ne couloit que goutte à goutte, quand pour une longueur de 180 pieds, la charge ne montoit qu'au sommet du diamètre vertical.

N°. 351. On lit : « quoi qu'il en soit, quand on n'aura dans la pratique, qu'une petite pente à donner à un tuyau, il sera toujours plus pru-

dent de le faire dégorger sous l'eau, ou du moins de recourber son extrémité inférieure en gueule bée horizontale.

352. (Page 28.) On lit : « C'est ici le lieu » d'avertir que notre théorie ne doit pas s'appli- » quer aux conduites des tuyaux qui ne coulent » pas pleins, comme cela arrive à ceux qui, » étant inclinés, ont une charge moindre que » la hauteur due à la vitesse uniforme, relative » à leur pente et à leur diamètre. »

N°. 353. On lit : « M. Couplet donne dans » les mémoires de l'académie des sciences, » année 1732, des recherches sur le mouve- » ment de l'eau dans les tuyaux de conduite, » fondées sur des expériences qu'il avoit faites » lui-même sur des conduites d'eau de Ver- » sailles ; mais M. Dubuat observe que la plu- » part des tuyaux qu'il employa étoient trop » défectueux pour qu'on puisse compter sur » leurs résultats.... surtout relativement aux » sinuosités de ces tuyaux, parce qu'il n'y » avoit point de ventouse aux angles supé- » rieurs, pour évacuer l'air qui s'y cantonne, » et que les coudes inférieurs étoient obstrués » par des matières terreuses. »

On ne peut s'empêcher de regretter de ne pouvoir tirer aucun fruit d'expériences faites par un savant aussi distingué que M. Couplet.

CHAPITRE III.

Sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux coudés ; expériences pour fonder une théorie sur les sinuosités des rivières.

354. (Page 31.) L'auteur annonce que quand une rivière a des sinuosités, il y a lieu de croire que leur effet est de troubler à chaque coude l'uniformité qui auroit lieu dans un lit direct, et de rendre plus grande, la seule dimension variable, à raison des coudes ; c'est-à-dire la profondeur du courant, et la section. L'uniformité de la pente peut essuyer des altérations locales, et la surface du courant devenir une suite de plans différemment inclinés, à raison de la différente résistance, mais, dit l'auteur, l'effet résultant de la somme des résistances, est nécessairement une perte quelconque de la vitesse qui auroit lieu dans un lit égal, s'il étoit droit.

Objet des expériences sur les tuyaux coudés.

355. (Page 32.) On lit : « On sent bien qu'il y » auroit des difficultés extrêmes à faire des expé- » riences directes sur la résistance des sinuosités

» des rivières; il est si facile de se tromper sur
» la mesure des pentes, les sinuosités sont sou-
» vent si irrégulières, la mesure de la vitesse
» moyenne si difficile à saisir dans un courant
» fréquemment réfléchi par des rives, qu'il y
» auroit de la témérité d'en entreprendre une
» suite suffisante; ou du moins si on osoit les
» tenter, les résultats seroient si délicats, qu'on
» n'en pourroit rien tirer de certain, pour fon-
» der une théorie. »

C'est pourquoi M. Dubuat a pensé que comme la loi du mouvement uniforme de l'eau est plus facile à saisir dans les tuyaux de conduite, que dans les lits de rivière; il en devoit être de même pour faire apercevoir les effets des irrégularités qui pouvoient survenir dans leur direction, et plus commode de varier les expériences, et de mesurer les pentes et les dépenses.

C'est d'après ces motifs qu'il a adopté ce moyen, afin de comparer à vitesses égales, les charges de deux tuyaux, dont l'un est droit, et l'autre coudé, et en faisant trois suppositions qui lui on paru conformes à la nature des choses; la première que la résistance d'un coude dans un tuyau, peut être représenté par une charge quelconque, employée à la vaincre; la seconde que cette charge n'est régulière et ap-

préciable, que quand la masse de la veine fluide, après avoir choqué l'arrondissement du coude, est réfléchie dans la partie suivante, qu'on suppose droite, en faisant un angle de réflexion égal à celui d'incidence; et la troisième que la résistance ou le choc est proportionnel au carré du sinus de l'angle d'incidence ou de réflexion.

OBSERVATIONS

Sur les 3 *suppositions précédentes.*

Nota. Lorsque le coude d'un tuyau oppose une résistance susceptible d'être exprimée, on pense comme l'auteur, que cette résistance peut être représentée par une charge d'eau capable d'un effet semblable, 2°. Si la masse d'un fluide parcourant un tuyau coudé, en choquant le sommet du coude, pour arriver à la partie droite, fait un angle de réflexion égal à celui d'incidence, il est incontestable que la résistance ou le choc doit être proportionnel au carré du sinus de l'angle d'incidence, ou de réflexion; mais on observe que ce n'est point toute la masse fluide qui vient frapper le sommet du coude, comme on le suppose; que tous les filets de cette masse ne se réfléchissent point

sous le même angle ; que dans le fait, plusieurs filets qui touchent la paroi, commencent à se réfléchir, et se plier dès l'origine de la courbe qui forme le coude, car cette courbe est censée composée de plusieurs facettes qui réfléchissent les filets fluides, suivant des angles différens, et lesquels filets communiquant successivement leur mouvement aux filets voisins, forcent la masse fluide à se plier suivant la forme du coude.

Ce ne sont donc pas, comme on l'a supposé dans le premier volume de cet ouvrage, les filets du milieu qui vont frapper le sommet du coude, en traversant obliquement les autres filets, pour ensuite se réfléchir vers l'autre rive, en faisant un angle de réflexion à celui d'incidence.

Préparations aux expériences.

356. (Page 33.) On lit : « On a d'abord » choisi trois angles de bricole ou d'inci- » dence, qui fussent tels, que les carrés de » leur sinus fussent en progression géomé- » trique double, et on s'est fixé à 24 ° 34 ' ; » 36 °, et 56 ° 14 ', dont les sinus élevés au » carré, sont 0,172848, 0,345485, et 0,691059, » en supposant le sinus total, égal à l'unité. »

Ayant ensuite fixé à 1 pouce et 2 pouces, les diamètres des tuyaux qui devoient être soumis à l'expérience, on a fait faire les tuyaux coudés suivans :

Tuyaux coudés d'un pouce de diamètre.

N°. 1. On lit : tuyau coudé, dont l'arrondissement est en plomb, et les branches droites en fer blanc, faisant un angle de coude de 130 ° 52 ′, ou un angle au centre de 49 ° 8 ′, le rayon de l'arrondissement extérieur est égal à 5,5245 pouces.....

N°. 2. Tuyau coudé fait avec les mêmes précautions que le précédent, sous un angle de coude de 81 ° 44 ′, ou un angle au centre de 98 ° 16 ′, le rayon d'arrondissement extérieur, pareil au précédent; la longueur des branches droites est de 6 pouces, et il s'y forme deux bricoles, dont l'angle d'incidence est de 24 ° 32 ′.

N°. 3. Tuyau coudé à deux courbures, sous un angle de coude de 130 ° 52 ′, ou sous deux angles au centre de 98 ° 16 ′ et de 49 ° 8 ′, le rayon d'arrondissement comme dessus, la longueur des branches de 4 pouces, et il

s'y forme trois bricoles, dont l'angle d'incidence est de 24 ° 34 '.

N°. 4. Tuyau coudé à deux courbures opposées et égales, sous un angle de coude nul, et sous deux angles au centre, de 98 ° 16 ' chacun, le rayon des arrondissemens comme dessus. La longueur des branches droites est d'un pied 9 pouces; il s'y forme quatre bricoles, dont les angles d'incidence sont de 24 ° 34 '.

N°. 5. On lit: tuyau coudé sous un angle de coude de 108 °, ou un angle au centre de 72 pouces. Le rayon de l'arrondissement intérieur n'est que de 2,618 pouces. La longueur des branches droites est de 9 pouces; il s'y forme une seule bricole, dont l'angle d'incidence est de 36 °.

N°. 6. On lit: tuyau coudé sous un angle de coude de 36 degrés, ou un angle au centre de 144 °. Le rayon de l'arrondissement est le même qu'au N°. 5. La longueur des branches droites est de 7 pouces 6 lignes; il s'y forme deux bricoles, dont l'angle d'incidence est de 36 degrés.

N°. 7. Tuyau coudé à deux courbures, sous un angle de coude de 108 °, ou deux angles au centre; l'un de 144 °, et l'autre de 72 °. Le rayon des arrondissemens

extérieurs est le même qu'au N°. 5. La longueur des branches droites est de 6 pouces 6 lignes; il s'y forme trois bricoles égales, dont l'angle d'incidence est de 36 °.

Nota. On a cru devoir se dispenser de copier les données des huit cas suivans, concernant d'autres tuyaux coudés, qui ne paroissent offrir d'autre différence que les angles, et qui d'ailleurs se trouvent dans la table.

357. (Page 38.) *Nota.* Chaque expérience sur les tuyaux coudés, doit correspondre à une expérience sur un tuyau droit dont la longueur est égale au développement du tuyau coudé, afin que la résistance relative au frottement sur la longueur des tuyaux étant la même dans les deux cas, et la vitesse étant aussi la même, la différence des charges fût uniquement due à la résistance des coudes.

Numéros des expériences.	Numéros des tuyaux coudés.	Charges à la tête des tuyaux droits exprimés en pouces.	Charges à la tête des tuyaux coudés exprimés en pouces.	Vitesse par seconde des tuyaux droits et coudés exprimés en pouces.	Nombre des bricoles et des degrés d'angles d'incidence.	Augmentation de charge à cause des coudes pour exprimer la même vitesse.
Tuyau d'un pouce de diamètre ; longueur 24 pouces.						
		pouces	pouces.	pouces.	bri. dég.	pouces.
86	8	36, 25	41, 0	122, 59	4 de 36	4, 75
87	8	27, 0	30, 5	106, 453	4 de 36	3, 5
88	8	18, 0	20, 33	84, 848	4 de 36	2, 33
89	8	9, 0	10, 08	59, 247	4 de 36	1, 08
Tuyau d'un pouce de diamètre ; longueur 117 pouces.						
90	7	36, 0 p°.	38, 49	84, 945	3 de 36 °	2, 49
91	6	36, 0	37, 5	84, 945	2 de 36	1, 5
92	5	36, 0	36, 75	84, 945	1 de 36	0, 75
93	4	36, 0	37, 5	84, 945	4 de 24	1, 5
94	3	36, 0	37, 12	84, 945	3 de 24	1, 12
95	2	36, 0	36, 75	84, 945	2 de 24 34 '	0, 75
96	1	36, 0	36, 37	84, 945	1 de 24 34 '	0, 37
97	9	36, 0	42, 0	84, 945	1 de 56 14 '	6, 00
98	10	36, 0	41, 9	84, 945	1 irrégulière.	5, 9
99	8	18, 0	19, 5	58, 438	4 de 36	1, 5
100	6	18, 0	18, 75	58, 438	2 de 36	0, 75
101	5	18, 0	18, 37	58, 438	1 de 36	0, 37
102	4	18, 0	18, 75	58, 438	4 de 24 34 '	0, 75
103	9	18, 0	19, 5	58, 438	1 de 56 14 '	1, 5
104	8,7,6,5	26, 945	32, 85	71, 59	10 de 36	5, 905
Tuyaux d'un pouce de diamètre ; longueur 138 pouces.						
105	8	20, 95	22, 59	58, 808	4 de 36 °	1, 64
106	8	6, 0	6, 41	29, 33	4 de 36	0, 41
Tuyau d'un pouce de diamètre ; longueur 737 pouces.						
107	8	23, 7	24, 09	28, 657	4 de 36	0, 39
Tuyaux de deux pouces de diamètre ; longueur 255 p°. $\frac{1}{4}$						
108	14	16 1/3	17, 2/3	58, 72	4 de 36 °	1, 33
109	14	36, 35	39, 25	86, 308	4 de 36	2, 90
110	11, 12 13, 14 à 15	36, 35	45, 09	86, 308	6 de 24 34 ' 5 de 36 1 de 56 14 '	8, 64

Réflexions sur les expériences précédentes.

Nota. On voit manifestement, et il étoit facile de le prévoir, que sur une même longueur, le frottement ou la résistance est plus considérable dans les tuyaux coudés, que dans les tuyaux droits, quelque soit la modification que les coudes fassent éprouver à l'écoulement; et qu'en conséquence il faut une augmentation de charge dans les tuyaux coudés pour faire équilibre à la résistance et produire la même vitesse.

2°. En comparant les charges des tuyaux droits et les vitesses correspondantes indiquées par le tableau, par exemple, l'expérience 89 avec l'expérience 86, on voit qu'une charge quadruple n'a produit que des vitesses à peu près doubles de 59 pouces 24 et de 122 p°. 59, c'est-à-dire que les vitesses sont à peu près comme les racines carrées des hauteurs des charges; mais ensuite en comparant les expériences 86 et 90, on remarque qu'une même charge de 36 pouces produit dans la première une vitesse de 122 pouces 59, et dans la seconde une vitesse de 84 pouces 94, qui est près d'un tiers moindre que dans le premier cas. Cependant la charge et le diamètre sont égaux

dans ces deux expériences, il n'y a de différence que sur la longueur du tuyau qui est presque quintuple dans le second cas. Néanmoins cette règle d'un tiers de diminution sur la vitesse, causée par l'augmentation de frottement sur une plus grande longueur, n'est point générale et proportionnée à cette longueur suivant ce même tableau; car si l'on compare ensemble les expériences 88 et 90, on trouve que dans ces deux expériences des charges doubles, c'est-à-dire de 18 et de 36 pouces, ont donné des vitesses à peu près égales de 84 pouces 84 et de 84 pouces 94.

Si ensuite on compare les expériences 91 et 109 qui se font l'une avec un tuyau d'un pouce et l'autre avec un tuyau de deux pouces de diamètre, et toutes les deux avec une charge de 36 pouces, on trouve que les vitesses résultantes de 84 pouces 945 et de 86 pouces 308, sont très-peu différentes, quoique faites avec des tuyaux d'un diamètre double et des longueurs plus que doubles dans le second cas.

Enfin les deux expériences 103 et 108 faites avec des tuyaux d'un diamètre double et des charges de 18 pouces et de 16 pouces $\frac{2}{3}$, donnent des vitesses de 58 pouces 43 et de 58 p°. 72 qui sont à peu près égales entre elles, quoique les tuyaux soient doubles en longueur

ce qui paroît prouver que les vitesses ne doivent diminuer ni de moitié, ni d'un tiers dans des tuyaux doubles.

3°. Si on veut examiner l'effet des tuyaux coudés, on remarquera que dans les 4 expériences 86, 87, 88 et 89 qui se font dans des tuyaux coudés avec 4 bricoles, les augmentations des charges causées par ces bricoles paroissent être d'un $\frac{1}{9}$ en sus de la charge des tuyaux droits et que leurs rapports sont à peu près comme les charges directes, c'est-à-dire comme les nombres 1, 2, 3 et 4.

4°. Que dans les expériences faites avec un tuyau d'un pouce de diamètre et une longueur de 117 pouces, les neuf premières sont faites avec une charge égale de 36 pouces pour les tuyaux droits, produisant des vitesses égales, mais qu'elles donnent néanmoins pour les tuyaux coudés des augmentations de charge qui diffèrent toutes entre elles, et varient depuis 0 pouces 37, jusqu'à 6 pouces, et lesquelles n'ont conséquemment aucune proportion avec les charges directes. On peut encore remarquer qu'elles ne paroissent point proportionnelles au nombre de bricoles des tuyaux coudés; puisque la 97e. expérience qui n'a qu'une bricole, a exigé une augmentation de charge

de 6 pouces, tandis que la 93e. qui a quatre bricoles, n'a produit qu'une surcharge de 1, 5 pouces. Enfin la 88e., avec une charge directe de 18 pouces et 4 bricoles, a donné une surcharge de 2 pouces 33; tandis que la 107e. avec un tuyau de même grosseur, une charge directe de 23 pouces 7, une longueur de 737 pouces et 4 bricoles n'a exigé qu'une surcharge de 0 pouces 39, d'où l'on jugera que les variations de surcharges ne paroissent avoir aucun rapport avec le nombre des coudes et qu'en général elles ne présentent aucun avantage sensible, et ne paroissent point favorables à la théorie des coudes que l'auteur cherche à établir.

CHAPITRE IV.

Sur le mouvement de l'eau dans les siphons. Expériences à ce sujet.

359. (Page 40.) *Objet de ces expériences.*

N°. 360. On lit..... « La pression n'influe point sur l'intensité de la résistance dans » les lits où l'eau se meut, c'est-à-dire que le » frottement des fluides n'est relatif qu'à l'é- » tendue de la surface et non à la hauteur du » fluide. On fait usage de siphons pour éclair-

» cir cette vérité; car on sait que l'eau oscille
» dans les siphons en temps égaux à ceux d'un
» pendule dont la longueur est égale à la moi-
» tié de celle de la colonne en mouvement..
» ..... Les durées des oscillations étant
» égales pour un même siphon, les vitesses du
» fluide oscillant, peuvent être représentées
» par la longueur d'une oscillation, et les ré-
» sistances par la perte du mouvement dans
» chacune ».

Préparations aux expériences.

N°. 361. *Extrait.* Expériences faites avec des tuyaux de fer blanc : le premier siphon vertical avoit un pouce de diamètre en dedans, étoit composé de deux branches verticales de chacune 4 pieds de hauteur, il avoit un écartement de huit pouces 10 lignes et un arrondissement de réunion.

Pour le second siphon, diamètre un pouce, branches montantes un pied; les branches jointes par une partie horizontale de 7 pieds 6 pouces et les arrondissemens 2 pouces de rayon.

Le 3e. siphon, 2 pouces une ligne de diamètre, et semblable pour le reste au premier.

Le 4e. siphon avoit aussi 2 pouces une ligne

de diamètre, et pour le reste, semblable au numéro 2.

Le 5e avoit 3 pouces de diamètre, sa longueur développée, 19 pouces 4 lignes, jointes par un arrondissement.

N°. 362. Description d'un petit flotteur qui a servi aux expériences; il étoit composé d'un morceau de liége traversé par une petite tige, et soutenu dans la verticale par un petit aplomb, etc.

363. (P. 45.) *Extrait.* On avoit recours au vent en soufflant sur la surface de l'eau d'une des branches, pour en la comprimant, produire des oscillations, qui étoient plus ou moins grandes, suivant la force du vent et la grosseur du tuyau. On a borné les oscillations à 3 à 4 pouces, pour quelques expériences, et on en a fait ensuite de 24 pouces.

Il faut voir dans l'auteur les diverses tables de ces expériences depuis la page 46 jusqu'à 51.

Nota. On n'a aucune observation à faire sur ces expériences.

CHAPITRE V.

Expériences sur le mouvement uniforme de l'eau dans un canal factice.

366. (Page 55.) On lit : « l'objet de ces » expériences est d'analyser le mouvement de » l'eau quand elle coule uniformément dans » un lit quelconque, rectiligne, de quelque » figure qu'il soit, et de vérifier si ce mouve- » ment peut se rapporter entièrement à celui » de l'eau dans les conduites circulaires. Pour » cela, il falloit un canal dont la section fût » variable dans le rapport de ses dimensions » et de sa figure, dont la dépense pût se me- » surer exactement, et dont il fût aisé de va- » rier les pentes.....

Préparation aux expériences.

367. (Page 56.) *Description du local des expériences projetées.*

N°. 368. On lit : « la capacité du bassin » étant bornée, je ne pouvois donner que 22 » toises, ou 132 pieds de longueur au canal

» que je me proposois de faire ; et il étoit dou-
» teux s'il seroit possible de faire couler l'eau
» dans un canal si court, avec la même uni-
» formité qu'elle auroit naturellement dans un
» lit d'une longueur indéfinie. J'ai plusieurs fois
» desiré que ce canal ait 5 à 600 pieds de lon-
» gueur, pour être plus assuré de l'uniformité
» du courant, et du parallélisme exact entre
» la surface de l'eau et le fond du canal ; mais
» il faut convenir qu'en gagnant de ce côté là,
» nous eussions perdu à d'autres égards, par
» l'impossibilité de varier fréquemment les pen-
» tes d'un canal si long, par la difficulté de me-
» surer ces pentes avec précision, par l'augmen-
» tation des frais de la première construction,
» par le temps qu'il auroit fallu mettre à une
» seule expérience..... ».

N°. 369. *Extrait.* Le canal d'expériences étoit formé avec trois cours de madriers en bois, de chacun 18 pouces de largeur. On donnoit à volonté à ce canal une forme triangulaire, ou trapèze ; le canal rectangulaire avoit 18 pouces de largeur dans le fond et des bords verticaux ; on y pouvoit mettre au moins 12 pouces d'eau ; le canal trapèze avoit 5 p°. $\frac{3}{4}$ de largeur dans le fond, et près de 3 pieds par le haut et 8 pouces de profondeur en eau.

N°. 370. *Extrait.* Les mêmes madriers pouvoient servir alternativement pour former un canal trapèze ou un canal rectangulaire.

A la tête du canal joignant le fossé où se faisoit la prise d'eau, étoit une vanne que l'on haussoit ou baissoit par le moyen d'une manivelle. A l'autre extrémité du canal étoit adapté un bac ou caisse de 3 pieds et demi en carré et de 14 pouces de profondeur; dans trois des faces de ce bac ou caisse, on avoit pratiqué des vannes pour laisser échapper à volonté, l'eau qui y arrivoit, et ne lui conserver que la hauteur qu'on desiroit.

371. (Page 60.) *Extrait.* De plus, on a construit en maçonnerie une jauge qui devoit recevoir les eaux du canal factice après chaque expérience, et qui pouvoit être remplie ou vidée à volonté; elle avoit 12 pieds de longueur sur 9 de largeur. Sa surface étoit de trois toises carrées ou 15552 pouces carrés.

Le canal factice, par le moyen de la vanne, faisoit sa prise d'eau dans un fossé de fortification, qui avoit 5000 toises carrées de surface.

On lit plus bas: « on a fait des expériences pendant lesquelles le canal dépensoit jusqu'à 7000 pouces cubes d'eau par seconde, ainsi l'eau devoit s'élever dans le bassin servant de

jauge de près d'un demi-pouce dans le même temps et le remplir entièrement en deux minutes..... D'après cette dépense, les fossés de la place baissoient alors d'un pouce par heure ».

N°. 372. Ce numéro contient la description d'un instrument pour la mesure de la dépense du canal dans chaque expérience.

N°. 373. *Extrait.* Après avoir fermé l'extrémité du canal, on y laissoit couler de l'eau jusqu'à ce qu'elle fût devenue dormante; et après avoir mesuré les profondeurs à l'entrée et à la sortie, on obtenoit avec précision la pente effective, et une petite différence de deux lignes démontroit une pente de deux lignes sur la longueur de 20 à 22 toises.

N°. 374. Ce numéro explique les manœuvres des examens pour faciliter l'écoulement dans le canal pour les expériences.

N°. 375. *Extrait.* On a placé une suite de clous d'épingles sur une des faces verticales du canal à une même hauteur parallèle au-dessus du fond, pour servir à déterminer avec précision les hauteurs d'eau dans le canal pendant son écoulement sur une certaine longueur, en mesurant avec soin les distances de la surface de l'eau aux clous d'épingle, ce qui paroît plus sûr que de mesurer la profondeur

en plongeant une règle, contre laquelle l'eau s'élèveroit au-dessus de la surface coulante.

L'auteur observe ici, que comme il y avoit une contraction d'orifice à l'entrée du canal, il s'y formoit une chute qui diminuoit la profondeur de l'eau, mais que la surface du courant se relevoit ensuite par degrés..... et ce n'étoit qu'à quelque distance que paroissoit s'établir l'uniformité de pente, de profondeur et de vitesse.

376. (Page 65.) *Nota.* 1°. Ce numéro décrit l'ordre des expériences qui ont été faites sur des pentes différentes.

Nota. 2°. Il paroît, par ce que dit l'auteur, que l'exécution desdites expériences a présenté des difficultés, soit parce que les vannes de la prise d'eau ne fournissoient pas assez, soit parce que celles de sortie évacuoient trop, ou trop peu, et que cela a exigé des tâtonnemens, pour saisir l'instant où les distances aux clous d'épingles paroissoient égales.

N°. 377. *Tableau d'expériences sur le mouvement uniforme de l'eau, dans un canal factice, ordonnées par rapport aux pentes des lits.*

Nota. Pour déterminer les vitesses de chaque expérience du tableau suivant, on a divisé le

produit, exprimé en pouces cubes de chaque expérience, par la surface de la section fluide, coulante dans ledit canal; mais par ce calcul, on ne peut obtenir qu'une vitesse réduite, et rien ne constate si dans les premiers ou seconds 20 pieds, la vitesse a été la même que dans les derniers.

Cotes des expériences.	Pentes du canal.	Charge d'eau sur la tête du canal, exprimée en pouces.	Profondeur d'eau dans le canal, exprimée en pouces.	Section du canal, exprimée en pouces carrés.	Parois du canal, exprimées en pouces.	Dépense par seconde, exprimée en pouces cubes.	Vitesse moyenne, uniforme par ses expériences en pouces.
			Canal trapèze.				
		pouces.	pouces.	pouces.	pouces.	pouces.	pouces.
A	$\frac{1}{212}$	3, 5	2. 166	18, 84	13, 06	518, 4	27, 51
B	$\frac{1}{212}$	6, 291	4, 666	50, 60	29, 50	1463, 4	28, 92
C	$\frac{1}{412}$	7, 166	6, o	83, 43	26, o	2264, 4	27, 14
D	$\frac{1}{427}$	3, 333	2, 833	27, 2	15, 31	497, 2	18, 28
E	$\frac{1}{427}$	4, 333	3, 666	39, 36	18, 13	799, 2	20, 30
F	$\frac{1}{427}$	5, 166	4, 333	50, 44	20, 37	1128, 6	22, 37
G	$\frac{1}{427}$	5, 50	4, 666	56, 43	21, 50	1328, 4	23, 54

Suite du Tableau d'expériences.

Cotes des expériences.	Pentes du canal.	Charge d'eau sur la tête du canal, exprimée en pouces.	Profondeur d'eau dans le canal, exprimée en pouces.	Section du canal, exprimée en pouces.	Parois du canal, exprimée en pouces.	Dépense par seconde, exprimée en pouces cubes.	Vitesse moyenne uniforme par section, exprimée en pouces.
		p°.	Canal trapèze.		p°.	p°.	p°.
H	1/432	8, 083	6, p°. 75	100 p°. 74	28, 53	2872, 8	28, 52
I		9, 0	7, 5	119, 58	31, 06	3607, 2	30, 16
K	1/432	9, 666	7, 917	130, 71	32, 47	4168, 8	31, 89
L		10, 0	8, 083	135, 32	33, 03	4401, 0	32, 52
M	1/1728	2, 333	2, 333	20, 83	13, 062	186, 3	8, 94
N		3, 333	3, 333	34, 37	17, 0	334, 0	9, 71
O		3, 917	3, 833	42, 01	18, 69	518, 4	12, 34
P			Canal rectangulaire.				
Q	1/458	2, 917	2, 0	34, 5	21, 25	698, 4	20, 24
R		6, 583	5, 0	86, 25	27, 25	2440, 4	28, 29
S	1/929	2, 333	2, 0	34, 5	21, 25	468, 0	13, 56
T		2, 042	2, 042	35, 218	21, 33	324, 0	9, 19
V	1/1412	3, 0	3, 0	51, 75	23, 25	626, 22	12, 10
X		4, 416	4, 416	76, 187	26, 8	1080, 0	14, 17
Y	1/9288	5, 957	5, 957	102, 78	29, 17	1598, 4	15, 55
Z		4, 0	4, 0	69, 0	25, 25	316, 8	4, 59
		9, 0	9, 0	155, 25	35, 25	885, 6	5, 70

378. (Page 68.) *Nota.* L'auteur convient que le canal factice n'ayant qu'une petite étendue, depuis la prise d'eau jusqu'au bac, il n'avoit pas assez de longueur, pour que le régime pût s'établir avec uniformité et pour que l'équilibre entre la résistance du lit et la la force accélératrice de la veine fluide pût s'établir pleinement. Il ajoute que la profondeur de l'eau étant petite, la dépense d'expérience divisée par une section trop petite, faisoit conclure une vitesse trop grande.

Quoi qu'il en soit, l'auteur ayant divisé ses expériences en trois classes, il a entièrement rejeté la troisième comme la plus défectueuse, et il a composé le précédent tableau de ses expériences de la première classe, et se propose de faire, plus bas, usage de la seconde.

Nous croyons qu'il eût été à desirer, que dans le choix que l'auteur a fait, pour former ce tableau, on y eût trouvé en plusieurs cas, des charges différentes sur une même pente, et des charges égales sur chacune des diverses pentes, afin de pouvoir, en les comparant, juger jusqu'à quel point les charges ou les pentes influent sur les vitesses. Cependant nous avons encore cru utile de faire quelques remarques sur le tableau tel qu'il est.

Par exemple, si on compare les expé-

riences A et B du tableau dont la pente est la même, on pourra remarquer que la charge et la profondeur de B, sont à peu près le double de A, et que cependant les vitesses qui en résultent, sont presque égales, étant de 28,92 pouces et de 27,51 pouces par seconde. On pourroit être étonné qu'une charge double produisît une si petite différence en vitesse.

Si l'on compare ensuite les expériences A et C, on remarquera que l'expérience C a une charge plus que double, et que la profondeur en eau est triple de A, et que les vitesses résultantes de 27 pouces 1 quart et de 27,51 pouces sont à peu près égales. Il est vrai que la pente de C n'est qu'environ la moitié de A, d'où l'on pourroit croire que la pente réduite à moitié, doit compenser l'effet de la charge double; mais on verra plus bas, que ce résultat n'est point exact; d'ailleurs, on a vu précédemment, que dans les expériences, A et B, qui ont des pentes égales, des charges et des profondeurs doubles donnoient des vitesses à peu près égales.

Si maintenant on compare l'expérience E avec H, dont les pentes $\frac{1}{427}$ et $\frac{1}{432}$, sont à peu près égales, on verra que l'expérience H, a à peu près une charge et une profondeur double de E, et que dans les vitesses, 28,52

pouces, et de 20, 30 pouces, la première est de plus d'un tiers plus grande que la seconde. Ici les charges ont beaucoup influé. Si l'on compare I avec A, la charge et la profondeur de I, sont à peu près triple de A, et la vitesse de I, est de 30,16 pouces, et celle de A, de 27, 51 pouces, il est vrai que la pente de A, est à près double de celle de I.

Si on compare D, avec I, dont les pentes $\frac{1}{412}$ et $\frac{1}{432}$, sont à peu près égales, la charge et la profondeur I, sont triples de I, de celle D, et les vitesses, comme 30,16 pouces, et 18,28 pouces d'où l'on voit qu'ici la charge a beaucoup influé.

Enfin, si l'on compare N avec Q, la pente est la même, et les charges étant comme 3,33 pouces, et 3,91 pouces, sont à peu près égales. Cependant les vitesses 9,71 pouces, et 12,34 pouces ont entr'elles une grande différence.

On ne poussera pas plus loin ces remarques; les observations qu'on vient de faire, doivent suffire à démontrer combien il y a peu d'accord entre les vitesses qui ont résulté, ou des charges ou des pentes différentes; il paroît même douteux, si dans le cours de ces expériences, le mouvement uniforme a existé dans le canal, sur ces petites longueurs, parce que le mouvement de l'eau ne paroît pas avoir été

sévèrement observé; mais les dépenses ont été conclues par le calcul, d'après les vitesses et les surfaces de section.

RÉFLEXIONS

Sur les expériences précédentes, faites avec un canal factice.

379. (Page 70.) Et dans les suivans, 380, 381 et 382, l'auteur indique les difficultés qu'il a éprouvées, pour mettre l'expérience d'accord avec la théorie.

« Pour résumer, dit il, toutes les difficultés » que nous avons éprouvées, on voit, que » quand les pentes étoient trop grandes, le » canal étoit trop court pour être réglé uni- » formément; et que, quand elles étoient pe- » tites, la dépense du réservoir étoit altérée » par la manière dont se faisoit l'écoulement » inférieur de l'eau. Ces deux causes pouvoient » se compenser en partie, dans les pentes » moyennes..... On ne peut cependant » pas se promettre que des expériences aussi » délicates, soient susceptibles de la même pré- » cision que celle des tuyaux. »

Nota. On pourroit observer que les diffé-

rences d'exécution seroient encore plus difficiles à concilier, si au lieu d'un canal factice en bois, on eût fait usage d'un canal pratiqué sur un terrein naturel quelconque.

N°. 583. L'auteur observe que dans la plupart des expériences dont il s'agit, surtout dans celles où la vitesse est un peu grande, la hauteur d'eau dans le canal, est moindre que celle du réservoir, ou que la charge d'eau sur la tête du canal..... Parce qu'une chute est nécessaire dans les canaux, pour produire une vitesse initiale..... Dans l'eau qui coule sur une pente, ajoute-t-il, la vitesse uniforme n'est pas produite par la pente, ou par la force qui en résulte, puisque cette force est sans cesse détruite par la résistance..... Ainsi, tout mouvement actuel uniforme d'une rivière, suppose, dit l'auteur, une vitesse précédemment acquise, par une chute, et l'effet de la force accélératrice, ou de la pente, est de la conserver en faisant équilibre à la résistance.

Nota. Telles sont les opinions et les explications de l'auteur, sur l'application de ses principes.

CHAPITRE VI.

Expériences sur le rapport, entre la vitesse moyenne d'un courant uniforme, et les vitesses, à la surface et au fond du courant.

384, 385 et 386. (Page 77.) Description des flotteurs employés pour déterminer les vitesses moyennes, avec une montre à seconde, lorsqu'ils parcouroient environ 60 pieds de longueur sur la fin du canal; ces flotteurs étoient pour les vitesses de surface de petits morceaux de bois de 3 à 4 lignes, en carré d'étendue, et une petite boule de mastic, ou une groseille rouge pour les vitesses du fond ou du milieu.

Nota 1°. Ledites vitesses n'ayant pu être observées que sur 60 pieds de longueur, on sent combien il a dû être difficile de graduer la marche des flotteurs par seconde; que cette étendue étoit trop courte, et que comme l'auteur en convient, il eût été à desirer que le canal ait eu au moins 600 pieds de longueur, au lieu de 132 pieds.

Nota 2°. On remarque avec l'auteur, que les flotteurs dont on s'est servi pour les expé-

riences, avoient une plus grande vitesse lorsqu'ils suivoient le milieu du canal, que lorsqu'ils s'approchoient des bords, ce qui démontre que tous les filets de la surface, coulant parallèlement n'avoient pas la même vitesse.

387. (Page 80.) *Nota.* L'auteur ayant fait alternativement usage de petites boules de mastic et de groseilles rouges pour mesurer la vitesse de fond dans son canal, a observé qu'on distinguoit plus facilement au fond de l'eau, les groseilles rouges, que les boules de mastic qui étoient brunes, et il a cru remarquer que la vitesse des groseilles rouges étoient à celle des boules de mastic, constamment comme 15 à 13. Mais soit que les boules de mastic un peu plus pesantes, touchassent le fond, ou y traînassent accidentellement, on conçoit que cette cause a pu ralentir leur vitesse, car si elles avoient surnagé comme les groseilles, on n'est point persuadé que la différence de poli de leur surface, ait produit la différence de vitesse qui a été annoncée de 15 à 13, si on considère surtout que les corps entraînés avec le courant, éprouvent peu de résistance à leur surface; enfin si les boules de mastic n'avoient traîné sur le fond, qu'accidentellement, le retardement de vitesse n'auroit pas dû se faire dans un rapport constant. Cependant on voit

dans les expériences suivantes qu'elles ont toutes été faites avec des boules de mastic, et l'auteur les a ensuite augmentées dans la proportion de 13 à 15.

N°. 388. On lit : « voici quatre expériences préliminaires, dont le but est d'observer comment les vitesses de l'eau vont en croissant, du fond à la superficie.

Nota. On les a copiées ci-après.

Cent dix-septième expérience.

	pouces.
Profondeur assez uniforme dans le canal trapèze.....	1, 00
Vitesse à la surface, au milieu de la longueur du canal, 60 pieds parcourus en 52 secondes, donne par seconde.....	13, 84
Vitesse au fond, avec une boule de mastic de 1 ligne $\frac{1}{2}$, 60 pieds en 85″, qui, augmentée dans le rapport de 13 à 15, donne.....	9, 77
Vitesse avec une boule de mastic de 4 lignes de diamètre, 60 pieds en 80″, laquelle, augmentée dans le même rapport, donne.....	10, 38

Vitesse avec une boule de mastic de 6 lignes, 60 pieds en 71″ $\frac{1}{2}$, laquelle augmentée de même, donne par seconde..... 11, 61

Vitesse avec une boule de mastic de 9 lignes, 60 pieds en 69″, laquelle, augmentée dans le même rapport, donne..... 12, 03

Nota 1°. Comme la profondeur n'étoit que d'un pouce, il s'ensuit que dans la dernière expérience, la boule de 9 lignes de diamètre, embrassoit les $\frac{3}{4}$ de la profondeur, à partir du fond, et que si l'on eût fait une 6e. expérience avec une boule d'un pouce de diamètre, elle auroit dû désigner une vitesse moyenne.

Nota 2°. Si la vitesse moyenne étoit, comme on le croit communément, les quatre cinquièmes de la vitesse à la surface ci-dessus exprimée par 13,83 pouces; alors on auroit pour la vitesse moyenne, 11 pouces,072, qui se trouve plus petite que la vitesse de fond, désignée par 12 pouces, 03 et que la précédente, 11 p°., 61, ce qui ne doit cependant pas avoir lieu, parce que la vitesse de fond doit toujours être plus petite que la vitesse moyenne.

Cent dix-huitième expérience.

	pouces.
On lit : la profondeur moyenne assez uniforme dans le canal trapèze, est de.....	3, 834
Vitesse moyenne presque uniforme	20, 57
Vitesse uniforme à la surface du du courant.....	28, 80
Vitesse au fond avec une boule de mastic de 2 lignes de diamètre 60 pieds en 52 $''\frac{1}{2}$, qui, augmentée dans le rapport de 13 à 15, donne.....	15, 82
Vitesse au fond, avec une boule de 4 lignes $\frac{1}{2}$ de diamètre, 60 pieds en 47 $''\frac{1}{2}$, laquelle, augmentée de même, donne.....	17, 52
Vitesse avec une boule de 9 lignes $\frac{1}{2}$ de diametre, 60 pieds en 42 $''$, laquelle, augmentée de même, donne.....	19, 77
Vitesse avec une boule de 15 lignes de diamètre, 60 pieds en 38 $''$, laquelle, augmentée de même, donne.....	21, 85

pouces.

Vitesse avec une boule de 20 lignes de diamètre, 61 pieds en 35 ", laquelle, augmentée dans le même rapport, donne..... 23, 73

On remarque dans les détails de la 118e. expérience, que la profondeur en eau étant d'environ 46 lignes, les vitesses du fond deviennent plus grandes à mesure de l'augmentation du diamètre des boules d'expérience. On n'en aperçoit pas la raison, si ce n'est qu'à mesure que les diamètres augmentent, la direction de leur centre se rapprochent du cours de la vitesse moyenne; mais ce qui doit étonner dans ce tableau, c'est que la vitesse du fond avec une boule de 20 lignes, est notée de 23, 73, et se trouve plus grande que la vitesse moyenne, annoncée de 20 ° 57 '.

Cent dix-neuvième expérience.

On lit : dans cette expérience, le courant étoit bien réglé, ainsi que le mouvement uniforme; c'est la même expérience D, du tableau précédent.

	pouces
Profondeur uniforme de l'eau dans le canal trapèze.....	2, 834
Vitesse moyenne uniforme du courant par seconde, suivant ledit tableau.....	18, 28
Vitesse du courant à la surface, 60 pieds en 31 $''$ $\frac{1}{2}$, ou par seconde.....	22, 85
Vitesse au fond, avec une boule de mastic de 2 lignes de diamètre, 60 pieds en 58 $''$, laquelle, augmentée dans le rapport de 13 à 15, donne.....	14, 32
Vitesse avec une boule de 4 lignes $\frac{1}{2}$ de diamètre, 60 pieds en 53 $''$ $\frac{1}{2}$, qui, augmentée de de même, donne.....	15, 52
Vitesse au fond avec une boule de mastic de 9 lignes de diamètre, 60 pieds en 48 $''$, laquelle, augmentée de même, donne.....	17, 50
Vitesse avec une boule de 15 lignes de diamètre, 60 pieds en 41 $''$, laquelle, augmentée de même, donne.....	20, 26
Vitesse de fond avec une boule de	

pouces

mastic de 20 lignes de diamètre, 60 pieds en 40 ″, laquelle, augmentée de même, donne..... 20, 76

Nota. On voit que dans les deux derniers cas, la vitesse du fond 20 p°., 76, surpasse la vitesse moyenne qui est de 18 p°., 28, quoique cette vitesse moyenne paroisse authentique, et qu'elle soit les $\frac{4}{5}$ de la vitesse à la surface.

Cent vingtième expérience.

pouces.

On lit: cette expérience est la même que l'expérience F du tableau précédent, le courant étoit bien uniforme à la vitesse moyenne de..... 22, 37

Profondeur uniforme de l'eau dans le canal..... 4, 333

Vitesse du courant à la surface, 60 pieds en 24 ″, ou par seconde 30, 00

Vitesse du fond, mesurée avec une boule de mastic de 4 lignes de diamètre, 60 pieds en 38 ″, laquelle, augmentée comme ci-dessus, donne..... 21, 86

pouces.

Vitesse avec une boule de mastic de 12 lignes de diamètre, 60 pieds en 35″ $\frac{1}{2}$, laquelle, augmentée comme ci-dessus, donne 23, 40

Vitesse avec une boule de 15 lignes $\frac{1}{2}$ de diamètre, 60 pieds en 33″ $\frac{1}{2}$, qui, augmentée de même, donne..... 24, 79

Vitesse avec une boule de 20 lignes de diamètre, 60 pieds en 32″ $\frac{1}{2}$, qui, augmentée de même, donne..... 25, 55

Nota 1°. On voit encore que dans les trois derniers cas, les vitesses de fond surpassent la vitessse moyenne, et que la dernière la surpasse de 3 pouces 18, c'est-à-dire d'environ $\frac{1}{7}$.

On jugera d'après les observations, quel fond on peut faire sur l'accord de ces expériences, et sur leurs résultats.

Nota 2°. Parmi les expériences précédentes, il y en a où le flotteur a parcouru les 60 pieds, ou 720 pouces en 80 secondes. Dans ce cas on auroit pu diviser la longueur totale en 8 parties,

de chacune 7 pieds 6 pouces, en les désignant par des marques, et observant ensuite la marche du flotteur; remarquer dans combien de secondes chaque huitième partie auroit été parcourue, et l'on auroit reconnu que ces espaces égaux, au lieu de l'être chacun en 10 secondes, l'auroient été dans des temps inégaux, c'est pourquoi on a trouvé plus expédient de diviser la longueur totale, par le nombre de secondes, pour avoir une vitesse réduite, et c'est le parti qui a été généralement suivi.

389. (Page 84.) *Extrait.* Les expériences précédentes prouvent, dit l'auteur, que les vitesses des filets d'eau vont en croissant, depuis le fond du courant réglé, jusqu'à la surface.

Il reste à constater par un nombre d'expériences, s'il existe un rapport constant entre les vitesses de la surface et du fond, ou si ce rapport est variable avec les vitesses; c'est l'objet des expériences suivantes.

Tableau d'expériences sur le rapport des vitesses de l'eau à la surface d'un courant, comparées à celle du fond et aux vitesses moyennes.

Nota. Dans le tableau suivant, on a omis d'indiquer les charges qui ont produit les vitesses et la surface. Mais dans le tableau précédent, page 33, sur les seize dernières expériences désignées par lettres alphabétiques, il y en a 12 où les charges sont à peu près égales aux profondeurs d'eau.

Numéros et cotes des expériences.	Pentes du canal factice.	Figure du canal.	Profondeur du courant exprimée en pouces.	Vitesses par seconde à la surface du courant exprimée en pouc.	Vitesses par seconde au fond du courant exprimée en pouc.	Vitesses moyenn. par seconde du cour. exprimée en pouc.
			pouces	pouces.	pouces.	pouces.
121 Y	$\frac{1}{9288}$	rectangulaire	4, 0	6, 05	2, 03	4, 59
122	$\frac{1}{9288}$	rectangulaire	5, 834	8, 08	2, 94	5, 76
123	$\frac{1}{9288}$	rectangulaire	7, 0	7, 82	2, 94	6, 32
124 Z	$\frac{1}{9288}$	rectangulaire	9, 0			5, 704
125	$\frac{1}{9288}$	rectangulaire	9, 666	8, 88	3, 73	7, 83
126 M	$\frac{1}{1728}$	trapèze	2, 333	10, 91	5, 95	8, 94
127 S	$\frac{1}{1412}$	rectangulaire	2, 042	11, 52	5, 76	9, 19
128 N	$\frac{1}{1728}$	trapèze.	3, 333		5, 45	9, 71
129	$\frac{1}{9288}$	rectangulaire		14, 69	7, 65	10, 97
130 T	$\frac{1}{1412}$	rectangulaire	3, 0	16, 0	8, 57	12, 10
131 O	$\frac{1}{1728}$	trapèze	3, 834			12, 34
132 R	$\frac{1}{929}$	rectangulaire	2, 0			13, 56

Numéro et cotes des expériences.	Pentes du canal factice.	Figure du canal.	Profondeur du courant exprimée en pouc.	Vitesses par seconde à la surface du courant exprimée en pouc.	Vitesses par seconde au fond du courant exprimée en pouc.	Vitesses moyenn. par seconde du cour. exprimée en pouc.
			pouces.	pouces.	pouces.	pouces.
133 V	$\frac{1}{1412}$	rectangulaire	4, 416	17, 14	9, 86	14, 17
134	$\frac{1}{1857}$	rectangulaire	4, 0	18, 94	11, 25	15, 34
135 X	$\frac{1}{1412}$	rectangulaire	5, 957	19, 20	10, 28	15, 55
136	$\frac{1}{1857}$	rectangulaire	4, 166	21, 17	12, 0	15, 63
137	$\frac{1}{427}$	trapèze	2, 207	0	12, 85	15, 65
138 D	$\frac{1}{427}$	trapèze	2, 834	22, 85	14, 40	18, 28
139	$\frac{1}{1728}$	trapèze	8, 166	23, 22	15, 0	18, 13
140	$\frac{1}{928}$	rectangulaire	3, 0	24, 0	15, 65	18, 57
141	$\frac{1}{18.7}$	rectangulaire	6, 0	24, 0	15, 65	20, 03
142	$\frac{1}{1857}$	rectangulaire	7, 166	24, 0	15, 65	20, 96
143 P	$\frac{1}{458}$	rectangulaire	2, 0	24, 82	16, 74	20, 24
144 E	$\frac{1}{427}$	trapèze	3, 666	0	0	20, 30
145	$\frac{1}{928}$	rectangulaire	4, 0	26, 66	16, 55	20, 34
146	$\frac{1}{427}$	trapèze	3, 834	0	0	20, 57
147	$\frac{1}{928}$	rectangulaire	4, 416	28, 8	18 95	22, 68
148 A	$\frac{1}{212}$	trapèze	2, 166	28, 8	19, 45	27, 51
149 F	$\frac{1}{427}$	trapèze	4, 333	30, 0	20, 26	22, 37
150	$\frac{1}{427}$	trapèze	4, 5	30, 0	20, 26	22, 63

Numéros et cotes des expériences.	Pentes du canal factice.	Figure du canal.	Profondeur du courant exprimée en pouc.	Vitesses par seconde à la surface du courant exprimée en pouc.	Vitesses par seconde au fond du courant exprimée en pouc.	Vitesses moyenn. par seconde du cour. exprimée en pouc.
			pouces.	pouces.	pouces.	pouces.
151 G	$\frac{1}{427}$	trapèze	4, 666	31, 3	20, 57	23, 54
152	$\frac{1}{458}$	rectangulaire	2, 957	31, 3	21, 18	26, 6
153	$\frac{1}{928}$	rectangulaire	7, 25	31, 3	21, 49	26, 94
154	$\frac{1}{458}$	rectangulaire	3, 666	32, 72	21, 81	27, 49
155 C	$\frac{1}{412}$	trapèze	6, 0	0	0	27. 14
156	$\frac{1}{432}$	trapèze	6, 666	0	0	28, 29
157 H	$\frac{1}{432}$	trapèze.	6, 75	34, 28	22, 5	28, 52
158	$\frac{1}{458}$	rectangulaire	3, 374	36, 0	22, 5	26, 15
159	$\frac{1}{1857}$	rectangulaire	10, 083	36, 0	24, 83	26, 45
160 Q	$\frac{1}{458}$	rectangulaire	5, 0	36, 0	24, 83	28, 29
161 B	$\frac{1}{212}$	trapèze	4, 666	0	0	28, 92
162 I	$\frac{1}{432}$	trapèze	7, 5	0	0	30, 16
163	$\frac{1}{432}$	trapèze	7, 75	0	0	31, 58
164 K	$\frac{1}{432}$	trapèze	7, 917	37. 89	26, 66	31, 89
165 L	$\frac{1}{432}$	trapèze	8, 083	0	0	32, 52
166	$\frac{1}{928}$	rectangulaire	9, 333	42, 34	30, 0	40, 24
167	$\frac{1}{205}$	rectangulaire	3, 083	48, 0	33, 48	38, 99
168	$\frac{1}{258}$	rectangulaire	4, 917	48, 0	34, 28	41, 0

Observations sur les expériences précédentes.

Nota. Ce tableau présente 48 expériences; si l'on comparoit entre elles, celles n°s. 141, 142, 143, 144 et 145, on pourroit remarquer que les profondeurs d'eau sont toutes différentes étant entre elles, comme 2 p°., 3 p°. 66; 4 p°., 6 p°. et 7 p°., 6; cependant toutes les vitesses moyennes correspondantes à ces expériences sont presque toutes égales, la plus petite ayant 20 p°., 05 et la plus grande 20 p°., 96 par seconde, d'où l'on pourra conclure que la profondeur d'eau ne contribue point à augmenter la vitesse : cependant on est assuré que dans chaque grande rivière dont la pente du lit est presque immuable, la vitesse de son cours s'augmente à mesure que l'eau s'élève par des crues.

On ajoute encore que dans les cinq expériences qu'on vient de citer, il s'y trouve des pentes doubles et quadruples, étant entre elles comme $\frac{1}{1857}$, $\frac{1}{928}$ et $\frac{1}{458}$, et même des charges doubles, comme dans les n°s. 143 P et 144 E, sans que ces circonstances aient fait varier les vitesses. On ne peut cependant ignorer que ces

résultats sont conformes à l'état des grands fleuves qui ont sensiblement plus de vitesse, lorsque leur lit a une pente plus forte, et c'est par cette raison que le Rhône a plus de vitesse que la Loire et la Loire plus que la Seine.

Au surplus nous ne devons pas dissimuler que le dernier tableau A, page 85 de l'auteur, a eu pour objet principal de présenter d'après l'expérience des comparaisons entre les vitesses de surface, les vitesses de fond et les vitesses moyennes, et c'est sans doute par ce motif que M. Dubuat a supprimé pour ces expériences, les charges qui ont contribué à déterminer les vitesses; mais on croit devoir rappeler ici, qu'il a précédemment établi que les vitesses moyennes étoient à peu près moyennes proportionelles arithmétiques entre les vitesses de fond et celles à la surface. Cependant ayant d'ailleurs observé que d'autres auteurs prétendent que la vitesse moyenne d'un cours d'eau, étoit égale aux quatre cinquièmes de la vitesse à la surface, nous avons cru utile de comparer pour ces deux hypothèses, les vitesses d'expériences du précédent tableau, et pour faciliter ces comparaisons, nous avons dressé un nouveau tableau dans lequel nous avons supprimé les pentes ainsi que les charges, et nous avons

réduit les 48 expériences à 35, parce que nous en avons retranché 13 qui manquent de plusieurs termes de comparaison.

B'

Nouveau tableau de comparaison des vitesses de fond, vitesses de surface et vitesses moyennes d'expérience, avec des vitesses moyennes, calculées sur deux hypothèses.

Numéros des expériences.	Profondeur du courant exprimée en pouc.	Vitesses par secondes à la surface du courant, exprimée en pouc.	Vitesses de fond par secondes exprimée en pouc.	Vitesses moyenn. du tableau A, exprimée en pouc.	Vitesses calculées au $\frac{4}{5}$ de la vitesse à la surface.	Vitesses calculées moyennes arithmétiques, entre la surface et le fond.
	pouces.	pouces.	pouces.	pouces.	pouces.	pouces.
121	4, 0	6, 05	2, 03	4, 59	4, 84 +	4, 04
122	5, 83	8, 08	2, 94	5, 76	6, 47	5, 51 +
123	7, 00	7, 82	2, 94	6, 32	6, 26 +	5 38,
125	9, 66	8, 88	3, 73	7, 83	7, 11 +	6, 50
126	2, 33	10, 91	5, 95	8, 94	8, 73 +	8, 43
127	2, 04	11, 52	5, 76	9, 19	9, 22 +	8, 64
129	0	14, 69	7, 65	10, 97	11, 75	11, 19 +
130	3, 00	16, 00	8, 57	12, 10	12, 80	12, 28 +
133	4, 41	17, 14	9, 86	14, 17	13, 71 +	13, 50
134	4, 00	18, 94	11, 25	15, 34	15, 15 +	15, 10
135 X	5, 95	19, 20	10, 28	15, 55	15, 36 +	14, 74
136	4, 60	21, 17	12, 00	15, 63	16, 94	16, 58 +
138	2, 83	22, 85	14, 40	18, 28	18, 28 +	18, 62
139	8, 16	23, 22	15, 00	18, 13	18, 58 +	19, 11
140	3, 00	24, 00	15, 65	18, 57	19, 20 +	19, 82
141	6, 00	24, 00	15, 65	20, 03	19, 20	19, 82 +
142	7, 16	24, 00	15, 65	20, 96	19, 20	19, 82 +
143 P	2, 00	24, 82	16, 74	20, 24	19, 86 +	20, 28
145	4, 00	26, 66	16, 55	20, 34	21, 33 +	21, 60
147	4, 41	28, 80	18, 95	22, 68	23, 04 +	34, 12
148	2, 16	28, 80	19, 45	27, 51	23, 04	24, 12 +
149	4, 33	30, 00	20, 26	22, 37	24, 00 +	25, 13
150	4, 50	30, 30	20, 26	22, 63	24, 00 +	25, 13
151	4, 66	31, 30	20, 57	23, 54	25, 04 +	25, 93
152	2, 95	31, 30	21, 18	25, 60	25, 04 +	26, 24
153	7, 25	31, 30	21, 49	26, 94	25, 04	26, 39 +
154	3, 66	32, 72	21, 81	27, 49	26, 18	27, 26 +
157 H	6, 75	34, 28	22, 50	28, 52	27, 43	28, 39 +
158	3, 37	36, 00	22, 50	26, 15	28, 80 +	29, 25
159	10, 08	36, 00	24, 83	26, 45	28, 80 +	30 41
160	5, 00	36, 00	24, 83	28, 29	28, 80 +	30, 41
164	7, 91	37, 89	22, 66	31, 89	30, 31 +	30, 27
166	9, 33	42, 34	30, 00	40, 24	33, 88	36, 17 +
167	3, 083	48, 00	33, 48	38, 99	38, 40 +	40, 74
168	4, 91	48, 00	34, 28	41, 00	38, 40	41, 14 +

Maintenant, si l'on compare les vitesses moyennes du tableau A de M. Dubuat, avec celles calculées dans deux hypothèses différentes, on verra que sur 35 expériences dont est formé le tableau B, il s'en trouve 23 prises aux quatre cinquièmes de la vitesse à la surface, qui s'approchent le plus des vitesses moyennes d'expériences, et seulement douze parmi celles qui sont moyennes proportionnelles arithmétiques entre les vitesses de surface et celles du fond. On a distingué les unes et les autres par des astérisques dans le tableau B.

Mais parmi les diverses vitesses d'expériences, il s'en trouve encore sept à huit qui s'accordent assez mal avec l'une ou l'autre proportion. On peut même conjecturer qu'il s'est glissé quelque erreurs dans le tableau A : par exemple on observe que le n°. 148 avec une vitesse à la surface de 28 pouces 30 et une vitesse de fond de 19 pouces 45, ne doit pas donner une vitesse moyenne de 27 pouces 51 plus grande que les vitesses moyennes des n°s. 149, 150 et 151 qui sont produites par des vitesses de surface et de fond plus grandes que celles du n°. 148.

De même le n°. 157 ne doit pas indiquer une vitesse moyenne de 28 pouces 52, plus grande que celle du n°. 158 dont les vitesses de surface et de fond surpassent celles du n°. 157. On en peut

dire autant du n°. 166 dont la vitesse moyenne de 40 pouces 24 surpasse celle du n°. 167 qui n'est que de 38 pouces 99, quoique produite par des vitesses de fond et de surface plus grandes.

Quoi qu'il en soit, il résulte de ces examens comparatifs, que la colonne calculée aux quatre cinquièmes de la vitesse à la surface, indique manifestement les vitesses moyennes qui se rapprochent le plus de celles indiquées par l'expérience suivant le tableau A de M. Dubuat, et que cette proportion paroît mériter d'être adoptée de préférence. Elle a d'ailleurs un avantage dans la pratique en ce qu'elle dispense de chercher la vitesse de fond, la vitesse et la surface devenant suffisantes pour déterminer la vitesse moyenne.

Cependant il faut être convaincu que toutes ces bases ne sont que des approximations, surtout si l'on fait attention en les appliquant à des rivières de 5 à 6 mètres de profondeur, que les bases ont été déterminées d'après des expériences faites dans de très-petits canaux réguliers qui n'avoient que 5 à 6 pouces de profondeur et qui ont présenté dans leur exécution des résultats souvent trop peu d'accord.

390. (P. 87.) « On lit : plus les vitesses à la sur-
» face, dans les expériences précédentes, sont pe-
» tites, plus les vitesses au fond sont avec elles en

» petits rapports, et au contraire plus les vitesses
» à la surface sont grandes, plus celles au fond
» approchent de les égaler. »

Nota. Il est bien vrai que les différences paroissent plus sensibles entre les vitesses de la surface et du fond, dans les petites vitesses que dans les grandes. Néanmoins il existe dans ce tableau des différences très-difficiles à expliquer. On en va citer un grand nombre qui ne paroissent pas suivre les proportions indiquées par l'auteur.

Expériences extraites du tableau A.

Numéros des expériences.	Vitesses à la surface.	Vitesses du fond.	Rapport entre ces deux vitesses.
	pouces.	pouces.	A peu prés.
121	6, 05	2, 03	3 à 1
127	11, 52	6, 76	2 à 1
130	16, 00	8, 57	2 à 1
135	19, 20	10, 28	2 à 1
138	22, 85	14, 40	3 à 2
140	24, 00	15, 65	3 à 2 à peu prés.
141	24, 00	15, 65	3 à 2
142	24, 00	15, 65	3 à 2
143	24, 82	16, 74	3 à 2
149	30, 00	20, 16	3 à 2
150	30, 00	20, 16	3 à 2
154	32, 72	21, 81	3 à 2
157	34, 28	22, 5	3 à 2
160	36, 00	24, 83	3 à 2
167	48, 00	33, 48	3 à 2

On voit que sur les 15 expériences ci-dessus, les rapports des vitesses de surface, aux vitesses de fond, onze de ces expériences sont constamment comme 3 à 2, et que parconséquent ces rapports ne changent point dans la proportion que les vitesses augmentent, comme on l'a cru.

N°. 391. L'auteur, comme on l'a dit précédemment, a cru remarquer que la vitesse moyenne d'un courant uniformément réglé, est à peu près moyenne proportionnelle arithmétique entre celle de la surface, et celle du fond.

D'après l'examen que nous avons fait ci-dessus de cette proportion, il ne nous reste plus rien à ajouter.

N°. 392. On lit : « Que l'auteur a cru voir, » que dans la section longitudinale d'une ri- » vière, au milieu d'un courant réglé, la vitesse » moyenne répond à une assez petite hauteur, » au-dessus du fond..... Mais, dit-il, nos » *expériences ne sont pas assez décisives à* » *cet égard, n'ayant pas été faites pour cet* » *objet.* »

Il observe d'ailleurs, qu'à une certaine profondeur, il est difficile d'observer avec précision la vitesse des corps flottans, à cause des réfractions qui font juger les corps, vus sous

divers angles, à des points différens de leur véritable lieu.

N°. 393. Pour démontrer par un autre moyen, la plus grande vitesse du courant à la surface, M. Dubuat *a plongé dans un courant réglé, un moulinet à quatre ailes, qui n'avoit en tout que* 19 *lignes de diamètre, et qui étoit très-mobile sur son axe*, et il a cru reconnoître que l'aile supérieure précédoit l'inférieure, et que le nombre de tours étoit proportionnel à la vitesse moyenne du courant.

N°. 394. On trouve dans ce numéro, un tableau de 6 expériences, faites avec un pareil moulinet, de 19 lignes de diamètre, et dont les ailes auroient 8 lignes de largeur, sur 13 de longueur; l'axe étoit plongé jusqu'à la moitié de sa profondeur.

Numéros des expériences.	Profondeur du courant exprimée en pouces.	Vitesse à la surface exprimée en pouces.	Vitesse au fond exprimée en pouces.	Nombre de tours du volant en 15 secondes
	p°. lig.	p°. lig.	p°. lig.	tours.
169	4, 5	28, 8	18, 9	29
170	8, 0	24, 8	16, 0	28
171	3, 0	24, 0	15, 6	25
172	2, 0	18, 0	12, 0	16
173	4, 11	8, 67	2, 34	8
174	9, 0	3, 8	1, 7	5 $\frac{1}{2}$

Nota. On pense que si dans les expériences, le moulinet étoit entièrement plongé sous l'eau, l'aile inférieure devoit opposer une résistance au mouvement de l'aile supérieure, et que le moulinet devoit tourner fort difficilement, ou très-lentement par l'effet de l'excès du choc sur la résistance, contre des surfaces égales.

Au contraire, si le moulinet n'étoit plongé que jusqu'au milieu de l'axe, c'est-à-dire d'environ 9 lignes $\frac{1}{2}$, le choc de l'eau frappant l'aile inférieure sur 8 lignes de profondeur, et

13 lignes de largeur, il en devoit résulter que le nombre de tours seroit l'effet de la vitesse à la surface.

Quoi qu'il en soit, on voit par le tableau ci-dessus que les deux premières expériences avec des vitesses fort différentes de 28 pouces 8, à 24 pouces 8, donnent presque le même nombre de tours; 29 et 28, qui ne diffèrent que de $\frac{1}{28}$, et que les 2 expériences 170 et 171, dont les vitesses sont à peu près égales de 24 pouces 8, et 24 pouces, donnent des tours de moulinets très-différens, de 28 et de 25 tours.

On se dispensera d'en dire davantage.

N°. 395. M. Dubuat a répété une ancienne expérience de M. Mariote, faite avec deux globes de verre creux, liés entr'eux, dont l'un surnageoit, et l'autre lesté de manière à être un peu plus pesant que l'eau. Les expériences ont été faites dans un canal de 3 pieds 6 pouces de profondeur; les globes avoient 2 pouces 8 lignes de diamètre, on les attache ensemble avec des fils de différentes longueurs; tellement que leurs centres étoient à 13 pouces, 25 pouces et 36 pouces de distance, l'un de l'autre, et ces expériences ont donné des vitesses de 17 pouces 30, 17 pouces 12 et 16 pouces 77; lorsque

la vitesse à la surface étoit de 17 pouces 48. Lesdites expériences confirment que les vitesses vont en diminuant en s'approchant du fond.

CHAPITRE VII.

Du régime des rivières, et de la résistance des différens fonds.

396. (Page 91.) On lit : « Ce n'est qu'en » étudiant le cours des rivières en grand, dans » les différentes contrées du royaume, ou du » globe, qu'on pourroit se flatter de recueillir » assez d'observations, pour assigner la ténacité des terreins différens, et déterminer la » vitesse qui convient à un courant, pour qu'il » ne se forme ni dépôts, ni fouilles. »

Nota. Il seroit sans contredit, très-utile d'étudier le cours des principales rivières, et de les considérer dans les hautes, moyennes, ou basses eaux; d'observer tous les changemens qui surviennent dans le lit qui les contient, comment elles corrodent les rivages, comment les îles se forment, s'accroissent ou se détruisent; cela dépend de la pente de leur lit, de la vitesse de leur cours, de la masse de leurs eaux,

de la nature et de la ténacité du terrein du fond de leur lit, ou de leurs rives. Or, ces observations sont d'autant plus difficiles à bien faire, que ces diverses circonstances varient plusieurs fois, même dans les grands fleuves, sur l'étendue de leur cours. D'ailleurs tous ces effets sont différens dans les grandes, ou les petites rivières; et puisqu'il y a des rivières dont le lit encaissé, est bordé de rives très-hautes, et d'autres qui sortent de leur lit plusieurs fois l'année, et même à toutes les crues, et se répandent sur les terreins environnans, de sorte que le lit principal où coulent les basses eaux, n'est pas capable de contenir la dixième et même la vingtième partie des eaux que les grandes crues peuvent fournir; ces dernières sont celles qui causent le moins de dommages aux rivières; d'autres qui ont des berges d'un, deux, et deux mètres et demi d'élévation tendent à corroder les rives dans leurs crues moyennes, et ne font plus de mal auxdites rives, lorsqu'elles sont totalement débordées.

Il reste encore beaucoup d'observations à faire sur l'action de ces rivières, contre les digues de défense qui les contiennent, et enfin sur la manière dont les eaux agissent sur les différens sols. Cependant après avoir recueilli

ces renseignemens locaux, il y auroit encore beaucoup à dire et à faire, *avant d'être en état de déterminer la vitesse qui convient à telle rivière*, pour, comme dit M. Dubuat, *qu'il ne se forme dans son lit ni dépôts, ni fouilles*, mais dit-il, *des voyageurs instruits rendroient un grand service aux sciences, en observant quelle est la vitesse à la surface des différens fleuves de la terre, leur section moyenne, et la nature du terrein sur lequel ils coulent.*

Cependant, comme ces diverses connoissances ne peuvent être rassemblées qu'avec beaucoup de temps, M. Dubuat, en attendant, a cru devoir tenter un essai d'expérience, dans un canal factice, sur la manière dont les différentes natures de matière résistent au cours des eaux.

Objet des expériences, sur le régime des rivières.

N°. 397. L'auteur appelle *vitesse de régime* d'un canal, ou d'une rivière, celle qui convient à un courant, pour ne pas creuser, ni combler son lit.

Nota. Il faut excepter 1°. les rivières ou canaux qui sont creusés sur un lit de roc, qui peuvent résister à des vitesses très-fortes, sans

que leur lit éprouve de changement sensible. 2°. Il y a beaucoup de rivières qui ont une stabilité apparente au temps des basses eaux, et il s'en trouve même qui pendant ce temps de moindre vitesse, produisent encore du changement dans leur lit; on remarque particulièrement dans plusieurs cantons du cours de la Loire, que les grèves marchent sous les eaux, dans plusieurs directions. En vain on fait dans ces momens, des chevalemens dans les bancs de sables, sur 5 à 6 mètres de largeur, et un mètre de profondeur, pour le passage de quelques trains de bateaux, et les passages étroits sont désignés par des balises; il ne faut souvent pas un mois aux grèves voisines, pour combler ces canaux factices.

Cependant quoique les grèves changent de place et de forme par l'effet du cours des eaux même à l'étiage, néanmoins toutes les années on trouve vers le milieu du cours des grandes rivières à peu près la même profondeur, réduite en eau, sans que le fond du lit paroisse sensiblement s'approfondir, ni s'exhausser, si on le considère sur une grande longueur, et qu'on le compare à des points fixes et immuables. Mais il n'en est pas de même des parties de leur cours, qui avoisinent les sources, ou les embouchures. Vers l'origine, le lit s'approfondit, à moins

que des roches ne s'y opposent, et il s'exhausse vers l'embouchure où les dépôts forment souvent des barres.

3°. On expliquera aisément comment les eaux dans les crues moyennes, avant de déborder, attaquent les rivages, y causent des éboulemens, et transportent ensuite leur produit, les jette sur la rive opposée, ou les amoncelle à peu de distance, et en forme des îles nouvelles.

N°. 398. *Nota.* Les expériences suivantes sont fondées sur ce que les matières susceptibles d'être chariées par la vitesse des eaux, sont emportées avec plus ou moins de facilité, suivant qu'elles sont plus ou moins légères; c'est pourquoi, avant de s'assurer par l'expérience, à quel degré de vitesse elles commencent à être emportées, l'auteur a déterminé le rapport des pesanteurs spécifiques des matières qu'il a soumises à ces expériences, relativement à l'eau; savoir : l'argile propre à la poterie, le gros sable jaune, le gravier de la Seine, de la grosseur d'un grain d'anis, gravier gros comme un pois, gravier gros comme une fève, galet de mer, arrondi d'un pouce de diamètre, pierre à fusil anguleuse, grosse comme un œuf de poule. Ensuite en faisant usage du canal factice précédent, il a soumis toutes les matières

successivement à dix vitesses différentes, en notant à mesure celles où elles commencent à emporter les corps, et celles où elles prennent de la stabilité.

Nota 1°. Comme on ne croit pas que ce tableau puisse avoir une application utile, on s'est dispensé de le copier.

Nota 2°. Ces expériences sont ingénieuses; elles servent à expliquer comment les corps, à raison de leur densité, résistent plus ou moins à la vitesse du cours des rivières; cependant elles ont le désavantage d'avoir été faites très en petit, et dans un canal dont le fond est construit en madriers de charpente, sur lequel les matières soumises à l'expérience, se trouvant isolées, donnent plus de prise à l'eau, tandis que dans un lit de rivière, en s'engrainant les unes et les autres, elles ont plus d'avantage pour résister à la vitesse des eaux; au reste, on doit observer que le choc que reçoivent les matières des différens degrés de vitesse de l'eau, est proportionnel à la surface directe qu'elles opposent à la direction du cours; mais leur résistance étant proportionnée à leur solidité, il s'ensuit que les plus grosses ayant à proportion moins de surface, sont mieux en état de résister que les petites, ce qui est confirmé par l'expérience, qui démontre que dans les jetées, les gros moellons

résistent mieux que les petits à leur déplacement.

3°. Cependant il y a des circonstances où des corps solides et volumineux qui ont plus de masse qu'il ne faut pour résister à de très-grandes vitesses, déduction faite de la perte qu'ils font dans l'eau, sont néanmoins quelquefois emportés par le courant, parce qu'en vain leur masse les met en état de résister au choc des eaux, les terres ou graviers du sol sur lequel ils reposent venant à céder et à acquérir de la mobilité, les corps durs et volumineux qu'ils supportent, sont forcés de cheminer. Dans un cas semblable, on a vu une portion de mur de clôture de plusieurs toises de longueur, transportée sans fracture par les eaux, à cent pas de distance avec le terrein qui le portoit, par l'effet de la rupture d'une digue, lors d'un grand débordement.

N°s. 400 et 401. *Nota.* On n'a rien à ajouter à ce qu'on vient de dire dans les numéros précédens. On se borne à remarquer que M. Dubuat à l'occasion de la dérivation d'une portion du lit de la rivière de Haine, observe que cette rivière, quoiqu'elle coule habituellement sur l'argile, lui avoit laissé voir au fond de son lit, des sillons sablonneux, ce qu'il attribue à l'usage où l'on est de sabler à Mons les appartemens et de balayer ensuite ce sable qui est

porté vers la Haine. On doute fort que ces sillons sablonneux, trouvés près de Condé, puissent provenir de cette cause.

Il paroît plus vraisemblable que, comme on le dit à la suite, parmi les dépôts argilleux que cette rivière charie dans ses débordemens, il s'y trouve des graviers; que les vases argilleuses très-asténuées par les eaux, contribuent à les rendre troubles, tandis que les graviers précipités au fond par leur pesanteur spécifique, y coulent plus lentement.

CHAPITRE VIII.

Expériences en grand, sur un canal de dessèchement, et sur la rivière de Haine.

402 et 403.... (Page 98.) On lit : « Pour » qu'une expérience sur le mouvement de l'eau » dans un canal ou dans une rivière, soit recevable, il faut 1°. que le courant soit uniforme » et réglé; 2°. qu'on connoisse exactement la » section et la paroi du lit; 3°. qu'on mesure la » pente avec précision. »

« Pour remplir la première condition, nous » avons, dit M. Dubuat, choisi un canal de

» dessèchement, qui sert à écouler les eaux des
» prairies de Valenciennes et de Condé, nommé
» le Canal du Jard, ou de la Boucande. Au-
» dessous du village du Vieux-Condé, ce canal
» est droit, sur une longueur de 1100 toises;
» et le fond de son lit est aussi uni qu'il soit pos-
» sible d'en trouver; c'est vers le milieu de cette
» longueur que nous choisîmes l'emplacement
» de nos expériences. Nous n'eûmes pas tout-à-
» fait le même avantage dans celles que nous
» fîmes sur la rivière de Haine. Les sinuosités
» y sont très-fréquentes; il a fallu nous conten-
» ter d'une partie presque droite de son cours,
» qui étoit précédée et suivie de deux coudes
» très-adoucis, c'est-à-dire, qui formoient des
» angles fort ouverts.

» Pour connoître la section et la paroi des
» lits du canal et de la Haine, nous mesurâmes
» une longueur de 240 toises le long du canal,
» et de 184 toises 2 pieds le long de la rivière.
» On planta des piquets à chaque extrémité de
» ces bases, et ensuite on leva en travers plu-
» sieurs profils, dont la ligne de niveau étoit
» rapportée au sommet de ces piquets, et au
» niveau actuel de l'eau, afin de pouvoir dans
» la suite connoître le rapport de grandeur de
» section et de la paroi, dans chaque expérience,
» en les comparant aux profils primitifs. »

Nota. M. Dubuat a pris d'ailleurs toutes les mesures désirables, pour constater avec précision la pente du canal sur la longueur fixée entre les piquets; et par le moyen d'une écluse de retenue, située à 300 toises au-dessous, il a soutenu les eaux à diverses hauteurs, et a procuré à la superficie courante dudit canal, les diverses pentes qu'il a ensuite constatées.

Mais il faut être prévenu que le fond du canal étant constamment le même, les changemens de pentes ne pouvoient concerner que la superficie du canal sur l'étendue fixée : c'est pourquoi M. Dubuat, dans ses expériences, n'a constaté que les vitesses de superficie prises pour chacune au milieu du canal.

Il a fait ensuite les mêmes opérations sur la portion indiquée de la rivière de Haine.

404. (Page 102.) On lit : *Nous n'avons pu mesurer que les vitesses à la surface et prises dans le milieu de la largeur du lit, et pour en déduire la vitesse moyenne, il faut avoir recours à la règle du* § 66.

Numéros des expériences.	Pentes sur la longueur totale, exprimée en lignes.	Pentes convertie en fractions.	Vitesse à la surface, par seconde, exprimée en pouc.	Section moyenne du canal, exprimée en pouces carrés.	Paroi moyenne exprimée en pouc.
Canal du Jard, longueur 240 toises 207360 lignes.					
	lignes.		pouces.	p° carrés.	
175	$23\frac{1}{4}$ =	$\frac{1}{8908}$	17, 419	16252	402
176	18 =	$\frac{1}{11250}$	12, 169	11905	366
177	$7\frac{1}{2}$ =	$\frac{1}{27648}$	7, 27	6125	324
178	$9\frac{1}{2}$ =	$\frac{1}{21827}$	9, 61	7858	340
179	$7\frac{1}{2}$ =	$\frac{1}{27648}$	7, 79	7336	337
180	$13\frac{1}{2}$ =	$\frac{1}{15360}$	15, 74	10475	360

Numéros des expériences.	Pentes sur la longueur totale, exprimée en ligne.	Pentes converties en fractions.	Vitesse à la surface par secondes exprimée en pouc.	Section moyenne de la rivière, exprimée en pouc. carrés.	Paroi moyenne exprimée en pouc.
Rivière de la Haine. Longueur 184 toises 2 pieds 159264 lig.					
	lig.		p°.		
181	$4\frac{5}{6}$ =	$\frac{1}{32951}$	13, 61	30905	568
182	$26\frac{1}{3}$ =	$\frac{1}{6048}$	35, 11	31498	569
183	$4\frac{11}{24}$ =	$\frac{1}{35722}$	15, 96	39639	604
184	$24\frac{5}{6}$ =	$\frac{1}{6413}$	31, 77	38838	601

Observations sur les expériences précédentes.

405. (Page 107.) M. Dubuat observe que les susdites expériences ont été commencées en 1780, et répétées en 1782, et que les résultats comparés lui ont paru avoir des différences qui provenoient de ce qu'il se trouvoit dans le canal du Jard une grande quantité de joncs qui ralentissoient la vitesse de l'eau, au lieu que la seconde fois les joncs étoient coupés, pour les quatre dernières expériences faites sur le canal.

N°. 406. Quant aux expériences faites sur la rivière de Haine, M. Dubuat convient qu'elles n'ont pas toute l'exactitude desirable, parce qu'elles n'ont pu être répétées comme il l'auroit souhaité, et que plusieurs fois un vent contraire qui a soufflé pendant ses expériences, faisoit dévier le flotteur de la ligne du milieu du cours.

Nota. On voit 1°. que toutes les pentes diverses des susdites expériences, se formoient par le moyen d'une évacuation des eaux plus ou moins prompte qu'on pratiquoit dans la partie inférieure; mais le fond du lit du canal restoit le même; la pente existoit seulement à

la surface du cours, et cette surface s'inclinoit plus à mesure que la pente augmentoit, ce qui est bien différent des pentes que l'auteur se procuroit avec son canal factice en madriers, dont il régloit la pente du fond avec des coins.

2°. Dans le canal factice rectangulaire de 18 pouces de largeur, la vitesse du milieu, ou celle des rives, ne pouvoit être différente; au contraire, dans les canaux du Jard et de la Haine, qui ont plus de 300 pouces de largeur, il est vraisemblable que la vitesse de surface prise au milieu, différoit sensiblement de celle à proximité des rives; et je soupçonne même que dans les plus fortes pentes, le milieu du lit, en coulant, s'abaissoit au-dessous du niveau des rives, pourquoi les pentes prises le long des rives pouvoient être plus foibles que celles du milieu.

Nous allons terminer ce que nous avons à dire sur ces expériences, en en comparant successivement plusieurs ensemble.

Par exemple, la 179e et la 183e; on voit que la première, avec une pente de $\frac{1}{2763}$, donne une vitesse de 7 pouces 79 par seconde, tandis que la seconde, avec une pente de $\frac{1}{3572}$, qui est sensiblement plus foible, donne une vitesse de

15 pouces 96, qui est à-peu-près double de la première.

Si de même on compare les expériences 176 et 181, on verra que les vitesses 12 pouces 169 et 13 pouces 61 sont presque égales, tandis que la pente de la première est presque triple de la seconde, et que c'est la plus foible pente qui donne la plus grande vitesse. Ensuite si on compare la 180e et la 183e, on trouvera que les vitesses 15 pouces 74 et 15 pouces 96 sont à-peu-près égales entre elles, tandis qu'une des pentes est inférieure à l'autre de plus de moitié: enfin, en comparant 175 et 182, dont la seconde pente est environ d'un tiers plus forte que la première, on trouvé la vitesse de la seconde double de la première.

Ces observations paroîtront sans doute suffisantes pour prouver que dans le susdit tableau les vitesses n'augmentent pas avec l'accroissement des pentes, comme la théorie le demande.

Au reste, nous croyons devoir rappeler ici ce que dit M. Dubuat dans le tome premier, où on lit, page 66: *Si les hydrauliciens balancent pour changer leur estimation, ils se rendront sans doute à l'évidence de nos expériences, où nous nous sommes assurés que l'eau avoit* 6 *pouces de vitesse dans notre canal factice, à une pente de* $\frac{1}{9288}$; 7 *pouces de vitesse dans*

un canal de dessèchement près de Condé, dont la pente étoit de $\frac{1}{27000}$ *; et enfin* 10 *pouces de pente dans la rivière de Haine, avec une pente de* $\frac{1}{33000}$.

On ne peut raisonner contre des faits, etc.

On voit donc que, d'après les dernières expériences de M. Dubuat, rappelées par lui, ce sont les plus petites parties qui donnent les plus grandes vitesses ; ce qui paroît contraire à tous les principes de théorie.

SECTION II.

Expériences sur la dépense des réversoirs.

CHAPITRE Ier.

Sur le mouvement et la dépense de l'eau qui s'écoule par un réversoir.

409. (Page 113.) Exposition d'un projet d'expériences.

N°. 410. *Nota* 1°. On s'est servi pour les quatre expériences suivantes, du même canal factice en madriers, précédemment décrit, et dont on a fait usage pour les expériences dont

il s'agit; on a employé successivement des vannes de 17 pouces 3 lignes de largeur, formant barrage, qui avoient 4 pouces, 4 pouces 1 ligne, et 6 pouces de hauteur au-dessus du fond.

L'eau couloit ensuite par-dessus ces vannes, avec différentes hauteurs de charge; mais on avoit mesuré ces hauteurs de charge un instant avant l'écoulement.

Nota 2°. Suivant les quatre expériences 185, 186, 187 et 188, la charge de la première 185, au-dessus de la vanne, étoit de 1 pouce 8 lignes, la dépense exprimée par la hauteur de l'eau dans le bassin, étoit de 5 pouces en 3 minutes; et la profondeur d'eau dans le canal étoit d'un pouce à 10 toises de la vanne, et de 1 pouce 6 lignes à 20 toises : la pente de $\frac{1}{258}$.

Dans l'expérience 186, la charge d'eau étoit de 3 pouces sur la vanne; la dépense, en deux minutes, 7 pouces 9 lignes de hauteur dans le bassin; la profondeur dans le canal, 1 pouce 10 lignes; et la pente $\frac{1}{302}$.

Dans l'expérience 187, la charge d'eau sur la tête de la vanne, 4 pouces 4 lignes; et la dépense en 3 minutes, avoit produit 13 pouces 8 lignes $\frac{1}{2}$.

Dans l'expérience 188, la charge d'eau sur

la tête de la vanne, 6 pouces 4 lignes; la dépense en une minute, 12 pouces de hauteur dans le réservoir; la profondeur d'eau non réglée dans le canal, 3 pouces 4 lignes; la pente, $\frac{1}{258}$.

OBSERVATIONS

Sur les Expériences.

411 et 412. (page 116.) *Nota.* L'auteur a observé 1°. que la profondeur du courant de l'eau, après avoir reversé par-dessus la vanne placée à la prise d'eau, n'étoient ni réglées ni uniformes, et que rien ne tendoit à la régler. L'expérience 185 indique qu'à 10 toises au-dessous de ladite vanne, la profondeur n'étoit que d'un pouce, et qu'ensuite à 20 toises, elle étoit d'un pouce 6 lignes; et il convient que les autres expériences présentoient également des inégalités de profondeurs. D'ailleurs, il pense qu'il ne suffit pas de multiplier la surface de la section par la racine carrée de la hauteur de la charge, pour avoir la dépense effective; mais qu'il faut modifier ce produit, en ayant égard au déficit provenant de la contraction, ainsi que l'auteur l'a observé ci-devant (tome 1er, § 142). Cependant nous ne croyons pas que la

contraction doive avoir lieu, dans le cas où la vanne barre en totalité le canal, et nous estimons que les diverses hauteurs de charge, indiquées au-dessus du barrage, auroient pu, à la vérité, donner une plus forte dépense; mais on croit qu'il convient de distinguer dans la hauteur de charge, celle qui excède le dessus du barrage avant l'écoulement, et celle après l'écoulement commencé; parce que les couches fluides les plus basses qui avoisinent le dessus du déversoir, ayant plus de vitesse que les couches supérieures, il s'ensuit que la masse fluide, en s'abaissant à la superficie, prend dans son dessus la forme d'une courbe, de façon que la nappe fluide qui fournit la dépense, a pendant son cours, une hauteur moindre au-dessus du réversoir, que celle qu'elle avoit avant le commencement de l'écoulement.

On convient cependant que dans la pratique, les différences de hauteurs sont difficiles à constater, surtout en grand.

Au reste, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit à ce sujet dans la première partie.

Réversoirs, ou vannages de même largeur que le lit d'une rivière ou d'un canal.

413. (Page 118.) M. Dubuat observe que lorsqu'un réversoir ou vannage traverse en totalité le lit d'une rivière ou d'un canal, dont la largeur est uniforme, l'écoulement ne peut éprouver aucune contraction latérale; ce qui paroît incontestable. On trouve à la suite les quatre expériences 189, 190, 191 et 192, dans le genre des précédentes.

N°. 414. M. Dubuat observe que, dans ces expériences où il n'y a point de contraction latérale, la dépense est plus grande.

Nota. D'après ce que nous avons dit précédemment, nous avons cru devoir nous abstenir de faire aucune remarque sur les quatre dernières expériences, ni sur les observations contenues dans les N°s. 414 et 415.

CHAPITRE II.

Etablissement d'un pont sur une rivière; expériences à ce sujet: de la vitesse d'un bateau flottant, et des balancemens de l'eau dans un canal fermé.

416. (Page 123.) M. Dubuat a fait deux expériences 194 et 195, sur les effets que les

piles et culées d'un pont pourroient produire sur l'écoulement des eaux dans le lit d'un canal ou d'une rivière. Dans ce dessein, il a fait usage de son canal factice en charpente, qui avoit environ 17 à 18 pouces de largeurs. Pour ces expériences, il a placé dans le milieu une pile de 4 pouces 6 lignes d'épaisseur; et contre les parois verticales, deux demi-piles de chacune 2 pouces 3 lignes d'épaisseur, sur 17 pouces de longueur, de sorte que le passage du vide réservé pour l'écoulement, étoit de 8 pouces 2 lignes.

L'auteur a observé que les piles et demi-piles gênoient l'écoulement, faisoient élever l'eau en amont, et produisoient un reflux ou remous, qui, en remontant, s'étendoit plus ou moins, suivant la pente du lit : il a remarqué que l'écoulement ayant été gêné pendant les expériences, la dépense de l'eau dans le canal, avoit été moindre dans le même temps, que lorsque l'écoulement se faisoit librement et sans l'obstacle des piles; il a même désigné les différences par un rapport, mais qui ne peut avoir d'application générale.

Nota. Ce résultat étoit facile à prévoir, car on voit ici que les piles de ces expériences occupant plus de la moitié de la largeur du lit du canal, ce qui ne peut jamais arriver, vu

qu'ordinairement ces piles occupent seulement la cinquième partie du vide du lit d'écoulement, et dans cette proportion, la pile et les deux demi-piles n'auroient dû avoir ensemble, que 3 pouces 5 lignes, au lieu de 9 pouces, et elles auroient alors opposé trop peu d'obstacle à la vitesse des eaux dans le canal, et le reflux causé par le choc de la vitesse, contre les piles, et par le rétrécissement du lit, se seroit très-peu étendu en amont, au-dessus des avant-becs.

Cent quatre-vingt seizième expérience.

417. (Page 127.) On lit : « Nous avons » prouvé ci-devant (220) que quand un corps » flotte librement à la surface d'une eau cou- » rante, il y doit prendre une vitesse plus » grande que celle du fluide qui le porte. »...

M. Dubuat prétend avoir vérifié ce fait. Un bateau chargé, dit-il, descendant la rivière au gré du courant, parcouroit 46 toises 2 pieds en 3 ′ 10 ″, tandis que la plus grande vitesse du courant, au milieu de sa largeur, n'étoit que de 46 toises 2 pieds en 3 ′ 29, de sorte que la vitesse réelle du bateau étoit de 17 pouces 557 par seconde, et celle du fil de l'eau, à la surface, de 15 pouces 961, d'où il suit que le bateau avoit une vitesse excédente de 1 pouce

596 par seconde, sur celle du courant, qui marchoit avec une visesse uniforme de 15 pouces 961.

Mais si l'on considère que le bateau chargé étoit plongé dans un fluide qui a une vitesse à peu près moyenne, la vitesse excédente du bateau paroîtra encore plus considérable. En effet, M. Dubuat suppose que la rivière a 8 pieds de profondeur, et le bateau, 6 pieds de tirant d'eau; que la vitesse au fond est de 9 pouces, et la vitesse a six pieds de profondeur, d'environ 13 pouces. En prenant une vitesse moyenne, entre celle de la surface, qui étoit de 15 pouces 961, et celle du fond du bateau, on aura une vitesse de 14 pouces 48, et c'est celle que le bateau devroit avoir, si quelques causes n'accéléroient pas son mouvement. Mais ledit bateau, suivant M. Dubuat, ayant une vitesse de 17 pouces 557, surpassoit de 3 pouces par seconde, cette vitesse moyenne.

Ce résultat est fondé, sur ce que M. Dubuat est convaincu que la vitesse de la rivière doit conserver son mouvement uniforme, tandis que le bateau placé sur un plan incliné, qui est celui de la pente de la rivière, reçoit à chaque instant des accroissemens de vitesse, et doit conséquemment avoir un mouvement accéléré; mais pour s'assurer si ce phénomène

avoit lieu, je lui aurois conseillé d'observer la marche de son bateau, non pas seulement pendant 3 minutes, mais pendant 30, pour juger de quelle quantité il eût accéléré sa marche pendant ce temps; il auroit dû avoir alors un résultat plus marquant.

Mais je conviens que les raisonnemens de M. Dubuat ne m'ont point convaincu, et que cette expérience m'a paru contrarier toutes mes notions, ainsi que l'opinion des bateliers que j'ai consultés; j'ai plusieurs fois observé la marche des bateaux chargés, ou non, sur différentes rivières, et il m'a toujours paru qu'un bateau non chargé, qui suivoit le fil de l'eau, marchoit avec une vitesse presque égale à celle de l'eau, à sa surface, et qu'un bateau chargé marchoit d'autant plus lentement, que son tirant d'eau étoit considérable, quand les uns et les autres étoient abandonnés librement au cours de la rivière.

Il m'a semblé que parmi les bateliers, personne n'ignoroit qu'un petit bateau à vide, abandonné au cours des eaux, marchoit plus vite qu'un gros bateau chargé; au surplus, il paroît dans l'ordre que des corps flottans très-légers, marchent avec la même vitesse qu'a l'eau à sa superficie, et que les corps plus ou moins plongés, prennent une vitesse relative à

leur position, étant demontré que la vitesse d'un courant quelconque, va en augmentant, du fond à la superficie.

Enfin, il m'a semblé que l'expérience précédente de M. Dubuat avoit été faite sur des espaces de trop peu d'étendue, et dans des temps trop courts. Or, il est facile de commettre des erreurs de plusieurs secondes, lorsque la durée du temps n'excède pas trois minutes et demie, et qu'il est question d'observer et fixer avec précision, la marche d'un objet mobile, souvent éloigné de l'observateur : on pense qu'il eût fallu faire ces expériences comparatives sur des longueurs d'au moins 1000 pieds.

Quoi qu'il en soit dans le fait, pour l'exercice de la navigation, les bateaux descendant ne sont abandonnés à eux-mêmes, que pendant de courts intervalles ; on fait usage dans certaines rivières, de bâtons ferrés, et dans d'autres, de rames et de l'aviron, non-seulement pour diriger, mais pour accélérer leur marche, et l'expérience confirme combien en descendant le secours des rames ajoute à la vitesse ; on remarque que dans les courts instans où les rames se reposent, le bateau se ressent encore de la vitesse acquise par leur secours, et c'est dans ces instans qu'on peut dire avec vérité qu'il marche plus vite que le courant.

TROISIÈME PARTIE.

De la résistance des fluides.

419. (Page 131.) On lit : c'est un des plus importans problèmes de la mécanique générale, de déterminer quelle est la résistance qu'un corps en mouvement éprouve dans un fluide en repos, et quel est l'effet nécessaire pour retenir ce corps immobile.....

M. Dubuat fait ensuite l'exposition des principes de Newton, sur la résistance des fluides, et il observe que ce célèbre géomètre s'est trompé, en imaginant pour sa théorie, un fluide qui n'est pas conforme à celui qui existe dans la nature, mais on en a conclu une théorie du choc, telle qu'elle se trouve dans tous les livres de la mécanique, savoir : « 1°. qu'il faut le » même effort pour mouvoir un corps dans » un fluide, avec une vitesse donnée, ou pour » le retenir immobile, si le fluide se meut avec » la même vitesse; 2°. que la résistance dé- » pend de la partie antérieure, au plan de la » plus grande section du corps, pris perpen- » diculairement à la direction du mouvement, » et que la longueur et la figure de la partie » postérieure n'y contribuent en rien. Ainsi,

» un cylindre mu dans la direction de son
» axe, éprouveroit la même résistance que sa
» base antérieure, réduite à un simple plan;
» 3°. qu'une surface quelconque éprouve des
» résistances proportionnelles au carré des vi-
» tesses, et à la densité des fluides; 4°. que
» les surfaces planes et directes éprouvent des
» résistances proportionnelles à leur étendue,
» et dont l'intensité peut se mesurer par le poids
» d'une colonne de même fluide, qui auroit
» pour base, la surface choquée, et pour hau-
» teur le double de celle qui est due à la vi-
» tesse; 5°. que si des surfaces planes, égales,
» se présentent à la direction du mouvement,
» les vitesses qui en résulteront perpendiculai-
» rement à chacune d'elles, étant proportion-
» nelles aux sinus d'incidence, les résistances
» dans le même sens, seront comme les carrés
» de ces sinus. Ainsi, la résistance qu'éprouve
» un prisme triangulaire choqué contre ses deux
» faces obliques, est à celle de la base qui se-
» roit perpendiculaire à la direction du mou-
» vement, comme le carré du sinus d'incidence
» est à celui du sinus total; 6°. qu'en consi-
» dérant les surfaces courbes, comme une
» suite d'une infinité de plans différemment
» inclinés, on peut par la loi précédente, com-
» parer leur résistance avec celle de leur base

» supposée isolée. Ainsi, on trouve que la résis-
» tance d'une sphère, n'est que la moitié de celle
» de son grand cercle; 7°. que toutes choses égales
» d'ailleurs, la résistance des fluides incom-
» pressibles, n'est que moitié de celle des fluides
» parfaitement élastiques. »

420. (Page 134.) M. Dubuat observe que des expériences que Newton fit sur la chute des sphères dans l'air et dans l'eau, lui prouvèrent que si les résistances dans l'eau et dans l'air, étoient proportionnelles aux surfaces et au carré des vitesses, leur intensité étoit moindre qu'il ne l'avoit calculée, et que toutes choses égales, les résistances dans l'eau et dans l'air étoient comme les densités de ces fluides, et non comme le double de ce rapport.

421. (Page 134.) On lit : « Depuis Newton,
» plusieurs géomètres s'occupèrent à perfection-
» ner les principes imaginés par lui; M. Da-
» niel Bernouilly, d'Alembert, et Euler entre
» autres, firent à ce sujet les recherches les plus
» profondes; et leurs résultats, trop compli-
» qués pour s'appliquer facilement à la pra-
» tique, s'accordent néanmoins avec l'expé-
» rience, dans quelques cas.

« On fit ensuite différentes expériences, qui
» détruisirent plusieurs règles importantes de
» la théorie reçue : elles sembloient devoir éclair-

» cir la question; mais elles n'ont fait au con-
» traire que l'obscurcir davantage par une va-
» riété de résultats contradictoires en appa-
» rence, et regardés jusqu'à présent, comme
» inexplicables. On ne savoit plus si la hauteur
» de la colonne fluide, dont le poids mesure
» la résistance, ou la hauteur due au choc,
» est égale à celle qui est due à la vitesse, ou
» si elle est double, ou enfin moyenne entre
» ces deux extrêmes. Ce fut pour sortir de cette
» incertitude, que M. l'abbé Bossut mesura
» immédiatement l'effort d'une veine fluide
» verticale, et sortant d'un vase, par un tuyau
» additionnel, et tombant sur une plaque plus
» large que la veine fixée au bras d'une ba-
» lance, et retenue horizontalement en équi-
» libre, par des poids opposés; il en conclut
» que la hauteur due au choc, est un peu
» moindre que le double de celle qui est due
» à la vitesse, résultat semblable à celui que
» M. d'Alembert a déduit de sa théorie, pour
» le même cas.....

Nota. J'ignore si l'on a répété l'expérience précédente, ou plutôt si on lui a donné quelque continuité ou durée, en observant les poids du bassin opposé, qui devoient faire équilibre au choc de la colonne fluide, contre le plateau; mais je pense qu'il convenoit dans cette expé-

rience, distinguer l'effet instantané du choc de la colonne fluide, sur le plateau et le poids d'une portion d'eau qui a dû rester sur ce bassin, immédiatement après le choc, avant de pouvoir s'écouler latéralement de droite ou de gauche. Il me semble que cette petite quantité d'eau qui reste sur le bassin, avant d'avoir pu s'écouler, doit augmenter la pression sur le plateau, et que les poids du bassin opposé qui font équilibre à l'effet total, comprennent l'effet du choc, ainsi que le poids de la portion d'eau non écoulée.

Au surplus, le peu de succès des expériences de ce genre, tentées par des savans distingués, et le peu d'accord de leur théorie avec l'expérience, ne sont pas rassurans sur l'état actuel de la science hydraulique. C'est ce que M. Dubuat confirme encore par le numéro suivant.

N°. 422. On lit : « M. le chevalier Borda » employa de nouveaux moyens pour ces ex- » périences, et n'obtint pas les mêmes résul- » tats. Ayant fait mouvoir un cube flottant » sur l'eau stagnante d'un grand bassin, il » trouva que la hauteur due au choc contre » une de ses faces, n'excédoit pas de beaucoup » celle qui étoit due à la vitesse. L'ayant fait » mouvoir ensuite suivant la diagonale, il » trouva que les chocs obliques diminuoient

» en bien moindre raison que les carrés des » sinus des angles d'incidence..... « Et il trouva de semblables différences dans une suite d'autres expériences qu'il fit.

423. (Page 136.) *Extrait.* En 1775, on fit par ordre du gouvernement, une suite d'expériences sur le choc des fluides, exécutées au nom, ou par MM. d'Alembert, Condorcet et l'abbé Bossut. On fit usage, pour ces expériences, d'une grande pièce d'eau située dans l'enceinte de l'école militaire, sur laquelle on fit mouvoir plusieurs petits bateaux prismatiques, et d'autres de figures différentes; ces corps flottans parurent éprouver des résistances qui croissoient dans un rapport un peu plus grand que le carré des vitesses; et quant au choc oblique des surfaces planes, on trouva que la théorie ordinaire étoit absolument défectueuse.

Au reste, malgré les noms des auteurs célèbres chargés de ces expériences, en général, elles n'ont point inspiré de confiance. J'aurois pu faire remarquer quelques vices dans l'appareil dont on a fait usage; mais tout ce que je pourrois dire, n'ajouteroit rien à l'opinion formée sur le peu d'avantage à tirer de ces résultats.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

Des observations diverses, faites sur l'ouvrage de M. Dubuat, concernant la science de l'hydraulique.

Il existe des principes d'hydraulique généralement admis, et qui se trouvent dans tous les auteurs qui ont traité de ces matières. On les croit certains et inattaquables; mais en partant de ces principes, plusieurs auteurs, dans la vue de rendre la science plus utile, en étendant ses applications, ont imaginé diverses hypothèses, qu'ils ont cru conformes à la nature: or, c'est de ces hypothèses qu'ils ont tiré plusieurs questions, qu'ils ont ensuite mises en équation. Ils ont cherché à faire usage de ces équations, en les employant en diverses circonstances, et en ont tiré des formules, afin d'en rendre les applications plus générales.

Tels sont les fondemens de plusieurs ouvrages sur l'hydraulique, et particulièrement de celui de M. Dubuat. Tout en rendant justice à son œuvre, qui a exigé de sa part des connoissances distinguées en mathématiques, des calculs très-multipliés, et qui l'ont forcé d'en-

treprendre un grand nombre d'expériences, toujours dans un but utile, néanmoins, occupé depuis long-temps d'observations sur le cours des fleuves et des rivières, et sur les changemens qu'il occasionne; après avoir cumulé beaucoup de matériaux dans ce genre, et les avoir médités, j'ai vu à regret que mes observations ne coïncidoient nullement avec la théorie de M. Dubuat; en conséquence je me suis cru forcé, pour l'intérêt de la vérité, non-seulement de soumettre mes difficultés au jugement du public initié dans ces matières, mais d'en développer les divers motifs sur lesquels mes opinions sont fondées. C'est pourquoi je vais, en les résumant, les exposer le plus brièvement qu'il me sera possible.

Je ne parlerai pas de la formule de M. Dubuat, applicable au mouvement uniforme des eaux, tel qu'il peut exister, et dont il fait un usage fréquent dans tout le cours de son ouvrage. C'est par ce motif que je l'ai copié textuellement. Je n'en conteste point les bases; car personne n'ignore que l'eau qui s'écoule par un pertuis, en vertu d'une charge qui est entretenue constamment la même, sort avec une vitesse proportionnée à la racine carrée de la hauteur moyenne de ladite charge, et que son écoulement, après avoir été modifié par l'effet

de la contraction, donne un produit toujours égal, et que la même vitesse et le même produit devroient continuer uniformément, si de nouvelles causes n'y occasionnoient pas de changemens. Or cet écoulement, soit qu'il rencontre en sortant d'un pertuis quelconque, un plan perpendiculaire, ou incliné à sa direction, ou qu'il s'écoule librement dans l'air, éprouve nécessairement des changemens. Par exemple, à la sortie d'une cascade, les eaux, après des bouillonnemens qui sont l'effet de la rencontre du plan qui reçoit la chute, commence à s'écouler avec une vitesse plus ou moins grande, suivant la pente plus ou moins rapide du lit qu'elles doivent parcourir. Mais quelle que soit la vitesse moyenne que l'on peut remarquer dans quelques-unes des parties de cet écoulement la masse d'eau dont il est formé s'écoule ordinairement dans un lit dont la capacité est en proportion avec le volume qu'elle fournit; c'est ce qui forme le régime ou l'état habituel de chaque rivière. Or les cours de chacune de ces rivières sont plus ou moins directs, ou plus ou moins sinueux : la pente de leur lit éprouve des changemens plus ou moins fréquens; la largeur des cours d'eau est tantôt réunie en un seul bras, et tantôt divisée en plusieurs par des îles. Tous ces divers changemens sont le produit

d'un grand nombre de causes, dont les unes tiennent à la ténacité ou à la mobilité du sol, à la figure des côtes ou des rives qui les bordent, et à beaucoup d'autres causes locales, qui n'ont pas jusqu'à ce jour été bien observées.

Mais je crois devoir placer ici un mot d'explication sur le mouvement uniforme d'un cours d'eau quelconque.

M. Dubuat (§ 20) met en principe que, quand l'eau se meut uniformément dans son lit, la résistance qu'elle éprouve est égale à la force accélératrice.

Je commenterai cette proposition, en disant que quand la pente du lit d'écoulement est trop forte, la vitesse de l'écoulement s'accélère incontestablement en le parcourant; que dans ce cas, la vitesse est très-supérieure à la résistance que lui opposent les frottemens, et qu'elle reçoit sans cesse, malgré cette résistance, de nouveaux degrés d'impulsion, par l'effet constant de ladite pente; que si, au contraire, la pente étant trop petite, la tendance à une vitesse d'écoulement est plus foible que la résistance provenant des frottemens, alors il n'y a pas d'écoulement; mais aussitôt que l'impulsion de la vitesse devient plus forte que la résistance, dès ce moment l'écoulement commence avec l'excès de vitesse sur la résistance qu'opposent

les frottemens; et si la nature de la pente continue à produire l'effet de la même impression, alors la masse d'eau, recevant à chaque instant de nouveaux degrés de vitesse, doit encore accélérer son écoulement.

Au reste, M Dubuat, sentant toute la difficulté de constater tous ces faits par des expériences dans des lits de rivière, a pris le parti de faire la plupart de ses expériences dans des tuyaux de conduite réguliers et de petit diamètre, quoique ce moyen présente de grandes disparités.

M. Dubuat convient qu'il est difficile de faire concorder des expériences faites dans des tuyaux, avec ce qui se passe dans le lit des fleuves. Les tuyaux ont des grosseurs uniformes, et leurs coudes ont de la régularité, tandis que les rivières ont, non-seulement des largeurs inégales, mais elles opposent des inégalités de profondeur, et d'autres sur la longueur et largeur de leur lit; et enfin des changemens fréquens dans leur pente et dans la nature du sol, toutes circonstances qu'on ne fait point entrer dans le calcul, et qui doivent changer les résultats.

Enfin, M. Dubuat suppose que la stabilité des rivières est réglée d'après des principes constans qui concourent à former leur régime

habituel. Il pense encore que leurs diverses sinuosités s'opèrent d'après les explications physiques qu'il en donne, pourquoi il suppose que les principaux filets du milieu du cours d'une rivière, qui sont ceux qui ont le plus de vitesse, vont frapper le sommet de la première courbe qui se présente, pour ensuite se réfléchir, en faisant un angle de réflexion égal à celui d'incidence; et que si cette même masse d'eau, en suivant cette dernière direction, rencontre de nouveau le rivage, ce point de rencontre devient le sommet d'une nouvelle courbe, où le même effet se renouvelle.

C'est ainsi que M. Dubuat voit les cours d'eau se réfléchir, en faisant successivement plusieurs bricoles contre les rivages, et il voit en résulter des corrosions de berges, et des déterminations de lit.

Ensuite, d'après ces principes, et d'après des angles divers qui occasionnent plusieurs bricoles, en supposant que le développement de ces courbes est proportionnel aux rayons qu'il indique, il circonscrit par des figures les contours qui en doivent résulter, et les changemens qu'il croit devoir s'opérer sur le lit des fleuves. Enfin, d'après ces bases, il forme des équations, dont il tire des expressions qu'il a cru devoir ajouter à sa formule du mouvement

uniforme concernant le cours des rivières, pour tenir compte de l'augmentation de résistance occasionnée par lesdits coudes.

C'est de cette façon que M. Dubuat détermine la figure des courbes des lits des rivières, et l'augmentation de largeur et profondeur que les coudes doivent faire naître. Mais on doit convenir que si cette théorie n'est pas vraie, elle est néanmoins fort ingénieuse.

Quoi qu'il en soit, il nous a paru que c'étoit sans preuve ni vraisemblance, que cet auteur avoit supposé que les filets d'eau du cours d'une rivière, qui ont le plus de vitesse, traverseroient les filets latéraux du même cours, pour aller frapper le sommet de chaque courbe; et qu'ensuite, faisant un angle de réflexion égal à celui d'incidence, ils se reporteroient vers le milieu du cours, qu'ils suivroient jusqu'à la rencontre d'une nouvelle courbe, et que les mêmes filets, en continuant, se réfléchiroient de nouveau, en formant une, deux, trois ou quatre bricoles, suivant les cas.

Nous sommes convaincus que la nature n'agit point ainsi; que chacune des courbes étant composée d'une multitude de petites faces, les filets d'eau voisins de la rive se réfléchissant dès l'origine de la courbe, sur ces petites faces, changent successivement et peu-à-peu

leur direction; et que communiquant ensuite leur mouvement aux filets qui les touchent, la masse affluente, ainsi forcée de plier sa direction, finit par adopter un mouvement général, parallèle au contour de ladite courbe, et je pense même que ces effets d'écoulement s'opèrent de cette manière, non-seulement dans les lits de rivière, mais même dans les tuyaux réguliers, ainsi que je m'en suis expliqué précédemment. Enfin, toutes les observations locales que j'ai faites, m'ont paru contraires à cette théorie des coudes, et je n'ai vu ni les largeurs de lit, ni les profondeurs, se déterminer d'après ces principes. Au surplus, dans les applications citées par M. Dubuat, il est forcé de convenir qu'elles ne se sont pas trouvées conformes à sa théorie, et que la Seine, dans plusieurs points qu'il cite aux environs de Rouen, a une largeur beaucoup moindre que celle qu'elle devoit avoir suivant son calcul, d'après les rayons de bricoles des courbes existantes. Sa théorie lui donne encore trop de largeur à la Marne, entre Meaux et Charenton, et pas assez au lit de la Seine, au-dessous de l'embouchure de la Marne.

Il en est de même des expériences qu'il a faites pour cet objet, et rapportées dans son second volume, suivant lesquelles, en faisant

couler de l'eau successivement dans des tuyaux droits et coudés, on cherche par expérience à connoître quelle est l'augmentation de charge que les tuyaux coudés peuvent exiger en raison du nombre de leurs coudes, etc.

On remarque, en comparant les effets dans les tuyaux droits et coudés, qu'en général ces derniers exigent en effet une augmentation de charge, pour produire la même dépense; mais ensuite on observe dans le même tableau d'expériences, que ces augmentations de charge ne paroissent point proportionnées au nombre de bricoles des tuyaux coudés, puisque la 97e. expérience qui n'a qu'une bricole, a exigé une augmentation de charge de 6 pouces, tandis que la 93e. qui a quatre bricoles, n'a exigé qu'une surcharge de 1 pouce 5, et que la 88e. avec une charge directe de 18 pouces et 4 bricoles, a donné une surcharge de 2 pouces 53, tandis que la 107e. avec un tuyau de même grosseur, une charge directe de 23 pouces 7, une longueur de tuyau de 737 pouces et 4 bricoles, n'a exigé qu'une surcharge de 0 pouce 39, d'où on a conclu que lesdites expériences ne sont pas favorables à la théorie des coudes, et que d'ailleurs, ni les applications, ni les observations ne paroissent pas devoir faire admettre cette théorie.

M. Dubuat, dans la 3e. section de son premier volume, projetant de faire des applications à la pratique de sa théorie, sur le mouvement uniforme du cours des rivières, propose les deux problèmes suivans.

PROBLÈME Ier.

N°. 110. On lit : « La quantité d'eau que » doit dépenser une rivière étant connue, ainsi » que la vitesse de régime; déterminer la plus » petite pente que son lit puisse avoir, et les » dimensions de son lit.

PROBLÈME IIe.

N°. 112. On lit : « La dépense d'un fleuve » étant connue en un lieu quelconque de son » cours, sa pente et sa vitesse de régime; » déterminer les dimensions de son lit. »

Nota. Sans arguer la méthode employée pour la solution de ces deux problèmes, j'ai observé que les quantités énoncées comme connues, et qui servent de données à ces problèmes, sont difficiles à déterminer, et que les moyens proposés par l'auteur, ne paroissent pas devoir y conduire.

Pour donner un exemple de l'application qu'on peut faire de ces deux problèmes au cours d'une rivière, M. Dubuat a choisi la Seine, considérée dans toute l'étendue de son cours, depuis sa source, jusqu'à Quillebœuf, et supposant qu'il tombe dix-huit pouces de hauteur d'eau dans un an, sur toute la superficie des versans qui bordent la Seine et ses affluens, et que le quart de cette hauteur est employé à nourrir, entretenir et fournir les crues de cette rivière; il détermine, par ce moyen, sa dépense pendant une année : mais l'auteur suppose ici que la dépense des rivières est exactement proportionnelle à la superficie des versans qui les bordent, et dont il indique pour la Seine, la superficie, par des calculs approximatifs.

Il trouve que ces versans doivent fournir annuellement à la Seine, par l'effet des pluies, 13,500,000 pieds cubes d'eau, ce qui produit par seconde, pour chaque mille carré, 0,4278 pieds; mais nous ne croyons pas que la dépense des rivières puisse être réglée d'après cette proportion.

Nous avons observé précédemment, qu'il falloit distinguer les versans des pays de plaine, de ceux des pays de montagne, et que les pluies répandues sur la superficie des terreins de la

plaine, fournissoient très-peu à la dépense des rivières ; qu'il ne faut pas juger l'effet des pluies dans la plaine, d'après les orages qui tombent sur les villes, où les toits et les pavés n'en laissent rien perdre, où tout concourt à réunir les eaux dans des ruisseaux qui s'écoulent sur des pentes réglées, vers le point destiné à les recevoir; au contraire, dans les pays plats cultivés, ou autres, la plus grande partie des pluies s'imbibe, et pénètre dans l'intérieur des terres, reste stagnante à une certaine profondeur sur des lits d'argile, et sert à alimenter des puits, ou quelques sources ; d'autres parties sont décomposées en terre, en servant à la végétation, et d'autres enfin, restées stagnantes à la superficie, subissent des évaporations journalières.

Il n'en est pas de même des versans situés dans les pays de montagne : ils fournissent d'autant plus aux rivières, que leur pente est plus ou moins rapide; d'ailleurs le pays de montagne qui attire et fixe les nuages, reçoit ordinairement une plus grande abondance de pluie que la plaine, et la plus grande partie se précipite dans le fond des vallons, et s'y accumule en proportion de la durée des pluies.

Les hautes montagnes se subdivisent en montagnes secondaires, qui donnent naissance à

plusieurs vallées, d'où sortent de forts ruisseaux, dont la réunion forme les grandes rivières. Cependant la totalité des pluies de la montagne n'est pas précipitée dans les vallées; une partie pénètre dans l'intérieur des montagnes, ordinairement formées de bancs de roches, qui ont plusieurs fois été ébranlées par les secousses partielles du globe. Les eaux y pénètrent par des fentes de rochers, par des crevasses, et les eaux dont rien n'est perdu, remplissent des réservoirs intérieurs, qui ont des issues dans les vallées, et y entretiennent des sources qui coulent pendant toute l'année, et lorsqu'en été la plaine est desséchée par un soleil brûlant, lorsque les prairies basses sont arides, les filets sourceux en sortant du sein des montagnes entretiennent encore au-dessous de leur sommet, des prairies verdoyantes; lesquels filets, en se réunissant aux sources principales, fournissent un écoulement perpétuel, qui forme l'état permanent des rivières pendant le temps de la sècheresse.

C'est donc principalement le pays de montagne qui nourrit les rivières au temps des basses eaux, et c'est encore la montagne qui contribue essentiellement aux débordemens : ils sont ordinairement produits par les pluies générales qui embrassent une vaste éten-

due de terrein ; or, c'est principalement de leur durée, sans aucune intermittence, qui peut être de 36, 48 ou 60 heures, qu'on voit naître des crues plus ou moins grandes, car il est facile de concevoir que les eaux se précipitent dans les vallons beaucoup plus promptement qu'elles ne peuvent s'écouler, parce que la pente du fond des vallons n'est pas souvent la dixième partie de celles des versans, qui les avoisinent, et que par cette raison elles doivent s'y élever beaucoup. Cependant on conçoit que de petites intermittences dans la durée des pluies, en permettant à une partie de ces eaux de s'écouler, modère la hauteur des crues, et qu'au contraire elles sont plus fortes lorsqu'il n'y a pas eu d'intermittence.

Lorsque les pluies ont été générales, il est incontestable que la plaine y participe, et qu'après avoir été saturée, elle verse son excédent dans les rivières ou ruisseaux qui les bordent, et de là, on a été porté à croire sans examen, que les crues sont proportionnelles à la superficie de tous les versans indistinctement ; s'il en étoit ainsi, on verroit au moment où la pluie cesse dans le pays de plaine, à Paris par exemple, les eaux d'un débordement de la Seine, cesser dès cet instant de croître, et ensuite s'abaisser, et la crue ne devroit

plus durer que le temps nécessaire à l'évacuation des eaux des parties supérieures ; mais l'expérience prouve qu'après la cessation des pluies dans la plaine, on voit encore vers le milieu du cours d'une grande rivière, après 6 à 8 jours d'un temps sec et serein, un débordement continuer de s'élever, parce qu'en effet, ce débordement ne doit diminuer qu'à dater du moment où la grande pluie a cessé dans la montagne ; tous ces faits ont été généralement reconnus par ceux qui les ont observés attentivement ; il en faut donc conclure que la dépense annuelle des grandes rivières, n'est point proportionnelle à la superficie de tous les versans qui la bordent, comme on l'a supposé, mais qu'elle dépend plus généralement du produit des pluies, dans les pays de montagne.

M. Dubuat suppose ensuite pour la résolution desdits problèmes, que la vitesse moyenne de la Seine est de 25 pouces par seconde, ou 30 pouces à la surface, et que cette vitesse constitue son régime ; ensuite il cherche à déterminer par le calcul, les pentes partielles qui peuvent exister entre chaque affluent de la Seine, pour le cas de la plus petite pente possible, puis additionnant ces diverses pentes, il résulte de son calcul que la source de la Seine

ne seroit élevée que de 153 pieds au-dessus de son embouchure, ce qui est fort au-dessous de la réalité; ensuite ayant observé que les fréquentes sinuosités du cours de la Seine peuvent à peu près doubler l'étendue de son cours dans la partie de Paris à Rouen, il a pensé que le lit de la Seine devoit par la même cause, doubler en longueur, depuis Paris jusqu'à la source de cette rivière, (ce qui n'est pas, vu qu'il se trouve dans la partie supérieure de très-grandes longueurs droites et d'autres peu sinueuses) : cependant d'après cette supposition, il annonce une pente de 306 pieds, double de la première qu'il avoit trouvée de 153, mais qui est encore beaucoup trop petite.

Ensuite ayant considéré que les nivellemens de M. Picart, donnoient au lit de la Seine au-dessus de Paris, une pente de $\frac{1}{6000}$, et rappelant que son calcul précédent, donne $\frac{1}{23094}$ pour la plus petite pente cherchée, il compare ensemble ces deux pentes, et trouve qu'elles sont entre elles comme 3,84 à 1; ensuite supposant à toutes les parties du cours de la Seine, une pente moyenne de $\frac{1}{6000}$, il en conclut que la pente totale de la Seine, depuis sa source jusqu'à Quillebeuf, est de 1175 pieds, et celle de Paris à Quillebeuf, de 150 pieds.

Nota. Ce calcul suppose que les sinuosités du cours de la Seine en font doubler sa longueur.

Mais on croit devoir observer que toutes ces diverses suppositions paroissent inexactes ; 1°. parce que la pente de la Seine au-dessous de Paris, à peu de distance, n'est que de $\frac{1}{7200}$, au lieu de $\frac{1}{6000}$; que loin d'être réglée uniformément, elle augmente beaucoup plus rapidement en remontant vers sa source, qu'elle ne diminue en descendant vers son embouchure ; 2°. parce qu'il est vraisemblable que la longueur du cours de cette rivière n'est pas doublée par les sinuosités ; 3°. parce que rien ne prouve que la Seine ait exactement une vitesse moyenne de 25 pouces par seconde, même au temps des basses eaux, et que sa vitesse a plus de 25 pouces dans le temps des débordemens, et même dans celui des moyennes crues.

4°. Enfin, comme il paroît assez évident que toutes les bases dont on a fait usage pour déterminer la dépense annuelle ou journalière des rivières, sont fautives ; il s'ensuit que les conséquences que M. Dubuat a tirées de ces données ne peuvent être exactes, et que les résultats de ces problèmes ne peuvent servir à déterminer la largeur de section des lits de rivières, dans

les diverses parties de leur cours, comme il se l'est proposé.

Je crois cependant que la résolution théorique des deux problèmes proposés, et de plusieurs qui suivent, peut être bonne, considérée mathématiquement, quoique les données se trouvent fausses dans les applications particulières qu'il en a faites; c'est par ce motif que je ne conteste point la méthode employée par M. Dubuat, c'est-à-dire ses résolutions exprimées algébriquement, et je n'ai relevé l'inexactitude des suppositions, que parce qu'en y faisant entrer des bases erronées, il sembloit annoncer une concordance exacte, entre sa théorie et les applications qu'il en faites à la pratique.

Il me reste un point essentiel à examiner, qui concerne les principes du mouvement uniforme applicable aux rivières et canaux, pour lequel objet, M. Dubuat a établi une principale formule algébrique tirée de sa première équation, dont il fait une application très-fréquente dans tout le cours de son ouvrage, et qui a été assez généralement adoptée; mais si j'osois avancer qu'il n'existe pas de mouvement rigoureusement uniforme, ni dans les rivières ni dans les canaux, et que je fusse fondé en raisons pour n'en point admettre, un grand

nombre d'hydrauliciens pourroient peut-être regretter qu'on leur enlevât les bases de leur doctrine ; mais avant de m'expliquer définitivement, je crois devoir faire ma profession de foi sur les principes généraux d'hydraulique, qui sont généralement admis.

1°. Je crois, et il me paroît incontestable que les vitesses des eaux, à la sortie d'un pertuis, ou d'un orifice quelconque, sont entr'elles comme les racines carrées des hauteurs moyennes ; je préviens que je vais être obligé de répéter une partie de ce que j'ai dit précédemment ; mais je m'y suis cru forcé pour lever tous les doutes sur un sujet aussi important.

2°. Qu'alors la dépense de ces orifices pendant un temps donné, est le produit de la vitesse par la surface de l'orifice, réduite d'après l'effet expérimenté de la contraction de la veine fluide, lorsque cet effet n'est pas modifié par des tuyaux additionnels, ou par quelqu'autre circonstance.

3°. Que dans un réservoir qui auroit à sa base un orifice d'écoulement qui ne seroit pas trop grand relativement à ladite base, si ce réservoir est constamment entretenu plein pendant la durée de l'écoulement, l'eau s'écoulera avec une vitesse uniforme, parce qu'elle est produite par une cause qui est constamment

la même, et conséquemment produira pendant des temps égaux, des dépenses égales.

4°. Il est évident que l'eau qui sort d'un de ces orifices avec une vitesse égale, doit, après sa sortie, continuer son mouvement avec la même uniformité, si elle ne rencontre pas d'obstacles qui s'opposent ou modifient sa vitesse ; mais dans l'ordre de la nature, il en survient toujours quelques-uns qui altèrent son mouvement, ou font changer sa direction.

5°. Il est incontestable qu'un corps solide ou liquide, repose sans mouvement sur un plan horizontal immobile, et qu'un corps solide commence à glisser sur un plan incliné, lorsque la tendance au mouvement, produite par l'inclinaison du plan, devient suffisante, pour vaincre les frottemens sur ledit plan, qui s'opposoient à son mouvement, et que tous les corps solides commencent à glisser sur les plans inclinés avec des angles d'inclinaison plus ou moins petits, suivant la forme des corps, leur poids, les aspérités du plan, ou le poli de sa surface.

6°. Qu'un corps solide qui glisse sur un plan incliné, accélère son mouvement, de sorte qu'après avoir vaincu la résistance des frottemens sur le plan, il marche avec une vitesse uniformément accélérée ; et que cette vitesse est

d'autant plus grande, que l'inclinaison du plan est plus forte.

7°. Que les corps liquides suivent à beaucoup d'égards les mêmes principes; qu'ils tendent à se mouvoir, lorsque le plan horizontal sur lequel ils reposent acquiert de la pente.

8°. J'ajouterai que si la pente du lit infiment petite, n'est pas en état de produire une vitesse capable de vaincre la résistance des frottemens provenant des parois du lit d'écoulement, alors il n'y a pas de mouvement.

D'après ces principes, j'observe 1°. que si dans un lit de canal horizontal où les eaux sont stagnantes, il survient une augmentation de fluide vers une de ses extrémités, si la quantité additionnelle est trop petite pour mettre toute la masse en mouvement, alors les eaux arrivantes produisent seulement une petite vitesse à la superficie du canal, vers le milieu de son lit, causée par la tendance qu'ont les colonnes fluides à se mettre de niveau; et ensuite le mouvement cesse dans la masse fluide.

2°. Si la pente du lit devenant plus forte, est en état de procurer une vitesse réelle à toute la masse fluide, il faut que cette vitesse soit plus forte qu'il ne convient, pour vaincre la résistance des frottemens; car si elle n'étoit qu'égale, tout resteroit en équilibre, et il n'y

auroit pas de mouvement ; mais étant plus forte, le fluide doit se mouvoir avec la vitesse excédente, et recevoir d'ailleurs, par l'effet de la même pente, dans le second instant, un deuxième degré de vitesse semblable au précédent, qui est encore plus que suffisant pour vaincre le frottement des parois d'un lit parfaitement semblable : il en seroit de même dans un troisième instant ; la masse fluide acquerroit un nouveau degré de vitesse, toujours excédant le frottement, et ainsi de suite. D'où on doit conclure que le frottement étant le même, à cause de la régularité supposée du lit, et le fluide acquérant à chaque instant de nouveaux degrés de vitesse égaux et supérieurs chacun à la résistance, il en doit résulter un mouvement uniformément accéléré. Donc la vitesse de l'écoulement ne sera point une vitesse uniforme, et ne peut l'être. Mais s'il survient des changemens dans l'inclinaison de la pente, il en résultera des changemens dans la vitesse des eaux coulantes ; si, par exemple, la pente devient plus rapide, alors l'accélération de vitesse sera plus forte, ou elle retardera, si la pente diminue.

Lorsque la vitesse du fluide est due à une chute, si à sa sortie, le fluide rencontre un plan horizontal, la vitesse est détruite, et le nouveau

liquide affluent n'a que la vitesse nécessaire à son épanchement, en vertu de laquelle elle tend à se mettre de niveau; mais si à la suite de la chute, elle rencontre un plan incliné, elle ne perd qu'une partie de sa vitesse, suivant que le plan est plus ou moins incliné: enfin, si la pente est assez grande pour lui rendre de la vitesse, elle en prend une qui résulte de ces causes combinées.

Je sais que plusieurs auteurs, faute d'avoir bien observé le cours des rivières, se sont persuadés que chacune d'elles marchoit uniformément avec une vitesse qui lui étoit propre, et qu'ils ont appelée vitesse de régime; ensuite le fait ayant été supposé certain, ils ont cherché à en expliquer la cause.

C'est ainsi que M. Dubuat, par exemple, persuadé de ce fait, a supposé que la vitesse due à une certaine pente, étant seulement suffisante pour vaincre les frottemens du lit d'écoulement, elle devait néanmoins continuer à agir, parce que la même pente devait à chaque pas imprimer à la masse fluide un nouveau degré de vitesse semblable, toujours capable de vaincre les frottemens, et qu'en continuant, la vitesse devoit ainsi se conserver uniforme.

On croit devoir répondre à ces assertions, qu'on ne doit pas supposer qu'un corps solide

ou fluide en mouvement sur un plan suffisamment incliné, puisse continuer son mouvement avec une vitesse constamment uniforme, parce que si la pente infiniment petite ne peut procurer au corps une vitesse capable de vaincre les frottemens, ou même si la force ne surpasse pas la résistance, il n'y aura pas de mouvement, et qu'il faut dans le premier instant une force telle, que la vitesse procurée par la pente, soit supérieure à la résistance des frottemens, pour que le mouvement puisse continuer; et si, dans tous les instans suivans, la vitesse restante ne recevoit pas, par l'effet de la pente, de nouveaux degrés de vitesse, elle iroit en diminuant, et tendroit au repos; mais au contraire, si, dans des temps égaux, elle reçoit de nouveaux degrés de vitesse, et égaux entr'eux, alors il y aura nécessairement accélération; et la pente restant constamment la même, le mouvement sera uniformément accéléré; ou si la pente vient à augmenter, l'accélération augmentera dans la même proportion, comme on l'a déjà dit plusieurs fois.

D'où on doit conclure que les équations basées sur des suppositions contraires à ce qui se passe dans la nature, ne peuvent conduire à la vérité.

Mais on m'a objecté que des expériences

nombreuses, faites par M. Dubuat, sembloient prouver que, dans les rivières ou canaux, l'eau couloit avec des vitesses uniformes plus ou moins grandes, suivant la différence des pentes, et que ces expériences paroissoient s'accorder avec les formules de M. Dubuat, concernant le mouvement uniforme; c'est-à-dire, que l'application desdites formules sembloient confirmées par l'expérience.

On répond que les expériences que l'on cite, n'ont point été faites en grand sur des rivières, mais un grand nombre dans des tuyaux de quelques lignes de diamètre, en verre et fermés; ensuite, d'autres dans des tuyaux fermés, d'un ou deux pouces de diamètre, en fer blanc; ou enfin, dans un canal factice ouvert, d'environ 36 à 37 toises de longueur, formé par trois madriers en charpente, avec des largeurs d'environ 18 pouces, et des profondeurs en eau, depuis 2 jusqu'à 6 à 7 pouces. Cependant, quoiqu'il y ait une énorme disparité entre les lits des canaux et rivières coulant sur le terrein naturel, et des tuyaux de foibles dimensions, réguliers et fermés, ou les petits canaux factices découverts.

Nous avons précédemment eu occasion de remarquer que, même dans ces derniers canaux factices, rien ne prouvoit l'existence de

vitesses uniformes régulières; on a même observé, avec l'auteur, que sur environ 222 pieds de longueur qu'avoit le canal en madriers, posé successivement sur des pentes différentes, l'eau commençant à couler avec une vitesse de chute, sa profondeur pendant son écoulement dans ce canal, avoit des profondeurs très-inégales, et ne devenoit à-peu-près égale en profondeur, que sur les soixante derniers pieds; et même rien ne prouvoit que la vitesse fût rigoureusement uniforme dans cette dernière partie; car on se rappellera que l'auteur, pour se procurer une vitesse moyenne dans chaque expérience, constatoit, par exemple, quelle avoit été la dépense pendant le temps de l'écoulement; ce qui lui étoit facile, en faisant usage d'une jauge d'une forme régulière, et d'une capacité connue; ensuite divisant le cube de la dépense trouvée par la surface de la section moyenne de la masse fluide en mouvement, il obtenoit par ce moyen la vitesse moyenne, et il opéroit de même à chaque expérience, pour des pentes différentes; mais il ne faut pas oublier que des vitesses moyennes ne sont pas des vitesses uniformes constamment égales; et pour obtenir ces dernières, il auroit fallu, comme je l'ai observé, faire ces expériences sur un canal factice

d'aumoins 600 pieds de longueur au lieu de 222; diviser ce canal en 10 parties égales, de chacune 60 pieds, et à l'aide d'un flotteur très-léger, constater avec soin, avec une montre à secondes, la durée de chacun des dix espaces parcourus par le flotteur, et on auroit trouvé des temps inégaux, ainsi que je m'en suis assuré par des expériences particulières; mais en prenant la dixième partie du temps total, on n'a que la vitesse moyenne du flotteur que l'on a ensuite comparée à celle précédemment déterminée par le calcul. D'ailleurs, on peut se rappeler que j'ai précédemment remarqué dans la plupart des expériences de M. Dubuat, beaucoup d'irrégularités, qui ne paroissent s'accorder avec aucune théorie, et qu'il en est ainsi de celles qu'il a faites sur le canal du Jard et la rivière de Haine près Condé, où l'on voit que les pentes les plus petites ont donné les vitesses les plus grandes, ce qui est contraire aux principes ordinaires.

Enfin dans d'autres expériences, j'ai de même remarqué des vitesses qui n'étoient nullement proportionnelles, ni aux charges, ni aux pentes diverses; et j'ai conclu de toutes ces observations, que les expériences de M. Dubuat ne pouvoient détruire les principes que j'ai posés ci-dessus.

J'ajouterai encore en répétant ce que j'ai dit précédemment, que les expériences dont les grandes rivières et canaux sont susceptibles, ne peuvent s'assimiler en aucune façon à celles qui sont faites dans des tuyaux de verre, fer-blanc, ou d'autre métal, dont les parois régulières sont façonnées par l'art ; qu'au contraire, les lits de rivière, depuis leur source jusqu'à leur embouchure, varient de forme et de grandeur à chaque pas, et que conséquemment les frottemens contre les parois de leur lit présentent de continuels changemens; que les pentes sont généralement plus rapides vers les sources, et plus douces vers l'embouchure, mais sans aucune régularité, parce qu'à une pente très-rapide, on en voit succéder une beaucoup plus petite, et quelquefois des contre-pentes : or tous ces changemens de pente détruisent ou modifient sans cesse les vitesses acquises. De plus, les lits de rivière, au lieu d'avoir un cours direct, présentent fréquemment des sinuosités de formes irrégulières, qui rompent la direction des eaux ; ces lits sont parsemés de diverses îles dont la rencontre divise les eaux en plusieurs bras.

On voit d'ailleurs dans l'étendue du cours des rivières, des eaux coulant avec des vitesses accélérées et peu de profondeur, qui sont sui-

vies de grandes longueurs en mortes eaux, ou du moins la vitesse est à peine sensible, quoiqu'avec d'assez grandes profondeurs; j'ai plusieurs fois constaté ces changemens sur de grandes longueurs, en les parcourant en bateau, la sonde à la main; j'ai même remarqué ces variations, même en me rapprochant de la source des rivières, et je citerai à cet égard, dans la haute Moselle, une portion de son cours, d'environ 8,000 mètres, située au-dessus d'Épinal, que j'avois fait niveler, et dont la pente énorme étoit de $\frac{1}{300}$. On trouvoit dans cette portion de lit de rivière des roches fréquentes, dont quelques-unes, par leurs retenues, occasionnent des cascades, et à la suite, des vitesses excessives, avec bouillonnement, et plus bas, des parties presque stagnantes, avec élargissement de lit, et puis des bases de gravier qui formoient des gués. Enfin, je conclurai de ce que je viens de dire, qu'il m'a semblé, d'après les raisonnemens fondés sur les principes de la mécanique, d'après l'observation et l'expérience, qu'il n'existe point dans le cours ordinaire des rivières, de vitesses rigoureusement uniformes, comme je l'ai ci-devant annoncé.

Cependant, on peut y rencontrer des lon-

gueurs d'environ 2, 4, à 6 mille mètres, sur lesquelles la pente étant assez bien réglée, la vitesse n'est pas sensiblement variable. Or si on faisoit flotter sur ces parties, par un temps calme, des corps légers et apparens, suivant le principal fil de l'eau, après avoir répété cette épreuve, on trouveroit, à l'aide d'une montre à secondes, le temps que ces corps mettroient à parcourir cette étendue de 2, 4 ou 6 mille mètres, et l'on obtiendroit par ce moyen la vitesse réduite de cette portion de rivière mesurée à sa surface, suivant le fil de l'eau, que l'on pourroit considérer dans la pratique comme à peu près uniforme.

Néanmoins, on ne doit pas oublier que tous les filets d'eau qui coulent parallèlement à ceux du milieu du cours, ne marchent pas avec la même vitesse; et que par cette raison, il ne seroit pas exact d'attribuer à toute la masse d'eau de la section, la même vitesse qu'on auroit trouvée aux filets du milieu du cours, et de calculer la dépense effective de la rivière d'après cette vitesse. Je pourrois encore ajouter à toutes les observations précédentes, mais je m'arrête, pour n'en point trop dire.

Pour terminer mon travail, je remarquerai qu'indépendamment des principes et des explications sur lesquelles j'ai émis des opinions dif-

férentes de celles de l'auteur, il se trouve dans le grand nombre de paragraphes dont son ouvrage est composé, des vérités et des observations utiles, que j'ai souvent citées, à mesure que je le parcourois; qu'en général, je n'ai point attaqué ses méthodes analytiques; et qu'enfin je pense que mes observations ne doivent pas dispenser de rechercher dans l'œuvre de M. Dubuat, plusieurs objets intéressans, que je me suis borné à indiquer.

Cependant, on m'a observé qu'il est généralement utile pour la pratique des constructions hydrauliques, d'avoir en certains cas des formules certaines, d'une application facile, et fondées sur une bonne théorie ; mais qu'en attaquant la plupart de celles assez généralement admises jusqu'à ce jour, je privois la pratique d'un appui essentiel, sans leur rien substituer, et qu'en niant l'existence des écoulemens uniformes dans les rivières ou canaux, j'enlevois les principaux moyens de former la jauge du produit des sources ou des rivières.

Pour répondre à ces objections, je crois devoir rappeler ici, qu'un jour feu M. de Chézi, inspecteur général des ponts et chaussées, très-distingué par son savoir, me dit que le moyen qui lui paroissoit le plus incontestable et le plus certain pour obtenir le produit d'une source vive ou d'une

petite rivière, étoit de se procurer un bassin ou réservoir de forme régulière, facile à mesurer avec exactitude, placé pour recevoir, et capable de contenir le produit de ladite source ou rivière, pendant la durée de 8 ou dix heures, plus ou moins, suivant que son importance peut l'exiger, parce qu'il est évident qu'en divisant la masse d'eau contenue dans ledit réservoir, exprimée en pouces cubes, par le nombre de secondes qui aura servi à le remplir, on aura exactement le produit de ladite source par seconde, sans qu'il soit nécessaire que les écoulemens aient été exécutés en temps égaux entre eux.

Il en est de même des jauges que l'on se procure par le moyen des pertuis. Lorsqu'on est parvenu à se procurer un pertuis dont, après des observations suffisantes, la dépense paroît égaler approximativement le produit de la source ou du ruisseau, il est démontré que le solide d'eau qui doit s'écouler par ce pertuis, doit être le produit de la vitesse due à la hauteur moyenne de la chute, multipliée par la surface du pertuis, avec l'attention de réduire la surface de la veine fluide, dans la proportion qu'exige l'effet de la contraction à la sortie d'un pertuis vertical.

Lorsqu'on exécute cette opération avec soin,

après les rectifications dictées par le calcul et l'expérience, on doit obtenir un résultat à peu près égal à celui de la première opération. On fait encore usage d'un autre moyen, qui consiste à pratiquer un canal de forme très régulière, dont toutes les sections sont égales entre elles, et dans lequel on fait passer le produit d'une source ou d'une rivière, lorsque ce produit paroît réglé et uniforme.

Lorsque ledit canal reçoit à son entrée, et dépense à sa sortie à peu près tout le produit de la source à calculer, et que l'eau paroît y couler constamment avec une vitesse quelconque, pour en évaluer le produit, on fait couler dans le canal un flotteur dont on observe la marche, en calculant avec une montre à secondes, le temps que le flotteur met à parcourir la totalité de la longueur de ce canal. On suppose que la marche du flotteur n'est pas troublée dans sa direction par aucun obstacle, qu'il n'est point accroché latéralement; et qu'enfin des expériences répétées ont fait connoître la durée totale de l'écoulement dans le canal, dont la longueur exprimée en pouces, détermine la vitesse moyenne dudit flotteur, laquelle vitesse étant multipliée par une des sections en eau du canal, doit donner la dépense totale de la source.

Or, cette opération ne prouve nullement que l'eau ait parcouru dans ledit canal des espaces égaux en temps égaux ; mais l'on jugera par l'exposé des susdites opérations, que mes conclusions ne contrarient en aucune façon les opérations des jauges.

2°. Je répondrai aux susdites objections, que lorsque j'ai cru reconnoître que des hypothèses admises en principe dans une théorie, ne me paroissent pas conformes aux phénomènes de la nature, et ne point s'accorder avec de nombreuses observations que j'avois eu occasion de faire, mon amour pour la vérité ne m'a pas permis de les dissimuler. J'ai été alors pressé du desir de soumettre mes observations à l'examen des personnes instruites sur ces matières.

3°. Il m'a paru que plusieurs théoriciens, dans la vue d'appliquer l'analyse à des pratiques utiles, ayant souvent été forcés de simplifier les données, pour les réduire en équations, avoient encore quelquefois omis des circonstances essentielles, ou en avoient introduit d'autres peu exactes; de sorte que ces omissions ou ces additions, en dénaturant les faits, ont été cause que les résultats n'ont pas été conformes à la marche de la nature.

4°. Ce n'est point ma faute, si la nature as-

sujétie à des lois conservatrices toujours constamment les mêmes, présente une série infinie de résultats, à cause de la diversité des matières qu'elle met en œuvre, de la variété des positions où elle se trouve, de la multitude des combinaisons qui s'opèrent, et des effets qui en résultent dans la succession des temps. Enfin, il m'a paru évident que cette complication d'effets variables ne paroissoit pas susceptible d'être soumise aux calculs analytiques, et que la plupart des combinaisons systématiques de ce genre, faites dans le cabinet, sont des rêves sans utilité.

5°. Il se trouve cependant quelques cas où, en faveur de la pratique, une théorie approximative, basée sur l'expérience, pourroit être, je crois, substituée à une théorie rigoureuse; car je suis persuadé qu'il reste encore un grand nombre d'expériences utiles à faire, et d'observations essentielles à recueillir, dont les résultats pourroient servir à diriger les grandes constructions. J'oserai même avancer que j'ai des projets de ce genre, et même quelques matériaux de disposés; mais ce n'est point ici le lieu de les faire connoître.

Cependant, si mon existence peut encore se prolonger quelque temps, ce que je ne puis prévoir, je tâcherai d'en profiter, dans les mo-

mens dont je pourrai disposer, pour m'en occuper, en rédigeant de nouvelles observations, d'après les faits qu'il m'a été possible de recueillir.

Quoi qu'il en soit, j'ai cru devoir ici faire part d'une réponse qui m'a été faite au sujet du présent travail.

Un géomètre très-instruit, auquel j'avois communiqué mon manuscrit, m'a mandé, en me le renvoyant,

Qu'il croyoit que M. Dubuat lui-même auroit peine à méconnoître la justesse et la vérité de la plupart de mes observations; qu'en somme, il sera toujours très-difficile de ramener l'ensemble des problèmes que l'on comprend sous le nom d'hydraulique, à une théorie simple et uniforme; qu'une grande partie des travaux faits sur la dynamique, par des géomètres célèbres, sont, la plupart, des rêveries géométriques, qui ont l'avantage d'avoir étendu les moyens de calcul, et fait honneur à leur auteur, mais qui ne sont d'aucune utilité pour l'art de l'ingénieur.

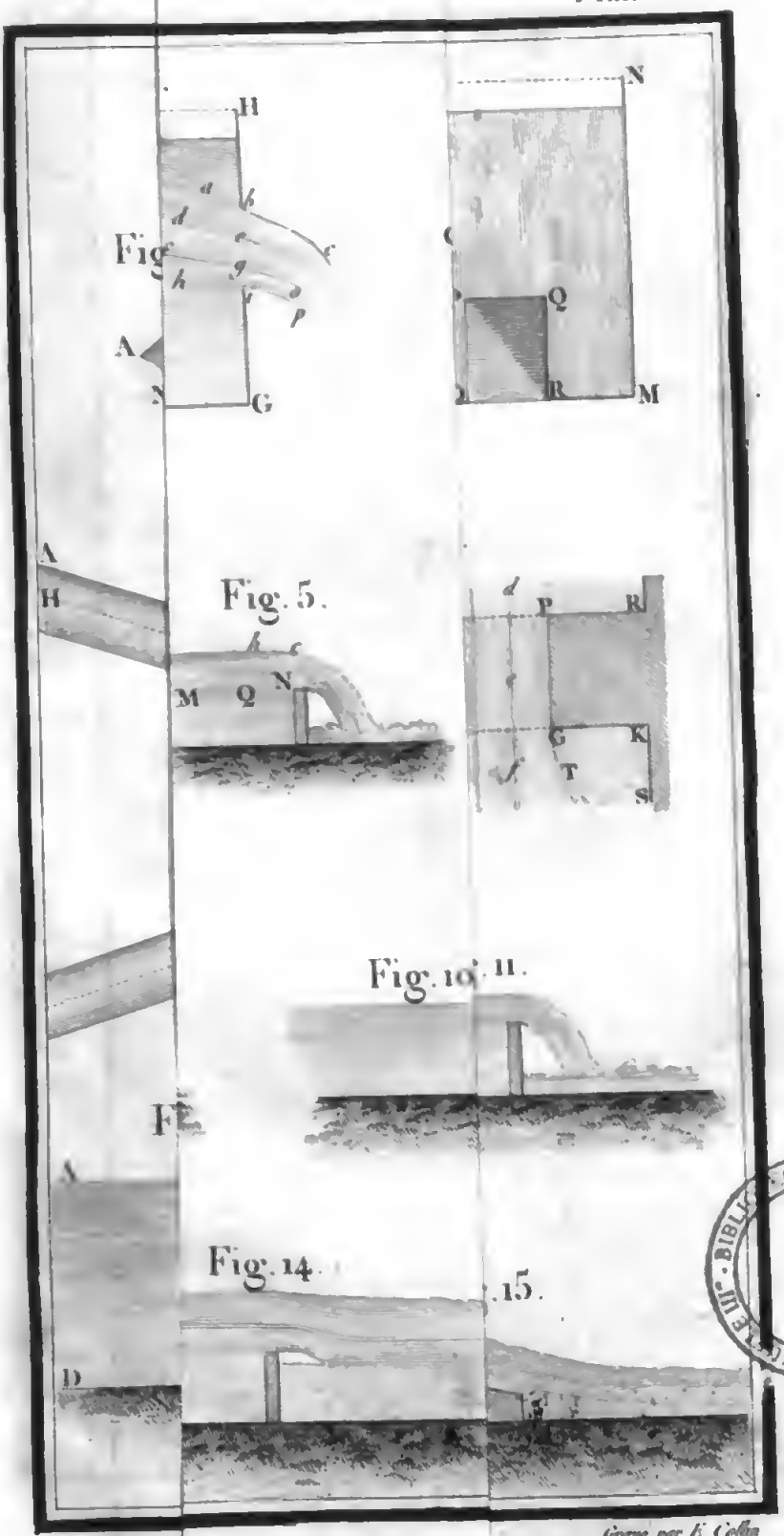
Le travail de M. Dubuat, comme analyse algébrique, est, disoit-il, une application de quelques principes du calcul, avec le secours de quelques hypothèses. Lorsque son ouvrage a paru, il a dû exciter l'attention, non-seule-

ment des géomètres, mais des ingénieurs, par l'importance des objets qu'il contient, et des questions qu'il traite; et quoiqu'il n'offre aujourd'hui que des connoissances élémentaires, il est devenu un livre classique, qui a été traduit dans plusieurs langues.

Cependant ce livre contenant d'ailleurs, comme je m'en suis expliqué, des vérités, et quelques observations utiles, j'ai cru nécessaire de fixer les idées du public sur les principales hypothèses dont il a fait usage, à cause de l'application qu'en peuvent faire les ingénieurs aux travaux hydrauliques.

FIN.

045333



Gravé par E. Collin

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE
NAPOLI

Pl. II.

Fig. 16.

g. 23

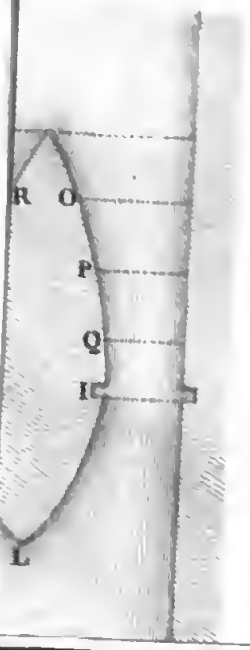
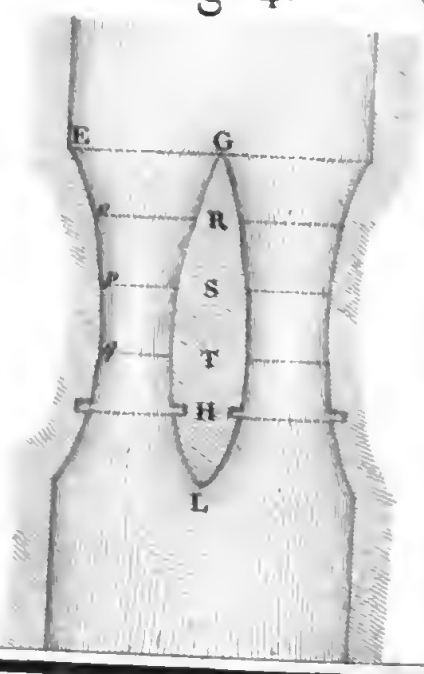


Fig. 24.



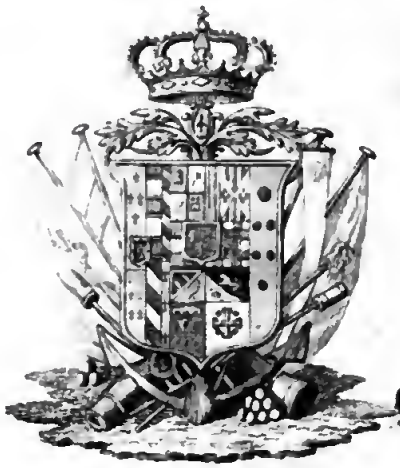
Gravé par E. Collin

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III

Digitized by Google

REALE OFFICIO TOPOGRAFICO

III Armadio .



Scansia Lettera G.

N.° 12.